



La pédosphère urbaine : le sol de Paris XVIIIe-XXe siècles

Sabine Barles

► To cite this version:

Sabine Barles. La pédosphère urbaine : le sol de Paris XVIIIe-XXe siècles. Océan, Atmosphère. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1993. Français. NNT : . tel-00523028

HAL Id: tel-00523028

<https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00523028>

Submitted on 4 Oct 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

79967

NS 16743

α (3)

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Spécialité : Urbanisme, aménagement

La pédosphère urbaine : Le sol de Paris

XVIIIe-XXe siècles

Thèse de doctorat nouveau régime présentée par Sabine BARLES

Directeur de recherche : André GUILLERME

Date de soutenance : 25 février 1993

Devant le jury composé de MM. Louis BERGERON, Bernard CHOCAT,
Roger FRANK, André GUILLERME, Pierre MERLIN, Marcel RONCAYOLO

PER 10 199

Doc 10 199

40 HST

SOMMAIRE

Avant-propos.....	iv
Introduction.....	2
Première partie : Images du chaos.....	23
Chapitre I : Réseaux et fondations	24
Chapitre II : Ecologie et pédologie	58
Une ressource rare	88
Deuxième partie : La vie du sol.....	90
Chapitre I : La nature du sol (XVIIIe siècle).....	91
Chapitre II : L'essor des techniques urbaines (Révolution et Empire)	236
Chapitre III : Le sol en chantier (XIXe siècle).....	283
Chapitre IV : Urbanisme (XXe siècle).....	426
Les sols de la ville.....	465
Annexes	472
Sources et bibliographie.....	496
Tables.....	560

AVANT-PROPOS

En achevant ce travail ébauché en 1988, je me rends compte qu'il me doit peu. Si les cours des D.E.A. "Urbanisme et pratiques de l'espace" puis "Histoire des techniques" m'ont apporté la formation qui me manquait, je ne peux oublier ici André Guillaume qui m'a suggéré ce thème de recherche, m'a donné le goût de l'histoire et m'a encouragée tout au long de ces années, tandis que Pierre Merlin veillait et m'ouvrait les portes du laboratoire Théorie des Mutations Urbaines et de l'enseignement. Le directeur de l'Institut Français d'Urbanisme, Charles Goldblum, m'a permis d'achever cette thèse dans les meilleures conditions.

Je n'étais pas familière de l'écologie qui m'a été en grande partie dévoilée par les intervenants du cours "Introduction à l'écologie urbaine" que j'anime avec André Guillaume depuis maintenant trois ans à l'I.F.U. : notamment Bernadette Lizet, qui m'a fait voir la richesse ethno-botanique des friches urbaines, Augustin Berque pour ses réflexions théoriques, John Celecia qui a mis à ma disposition une abondante documentation, Bernard Kalaora pour son approche sociologique de l'environnement, Claude Leroy pour sa sensibilité psycho-médicale à l'espace urbain. Parallèlement, Jean-Pierre Christory m'initiait aux techniques urbaines telles qu'elles sont développées par les laboratoires des Ponts et Chaussées et perçues par les collectivités locales.

J'ai toujours trouvé un accueil chaleureux au laboratoire Théorie des Mutations Urbaines dont je remercie tous les membres pour leur soutien. L'amitié de Delphine Walle, Marlène Ghorayeb, Geneviève Garcia-Oriol, Corinne Rocher, Babou Bazié et Rivo Eloi Radasoa m'a été d'un grand secours. Je dois aussi une reconnaissance particulière à Pierre Cubaud, sans lequel je n'aurais jamais entrepris ce travail.

Enfin, rien de tout ceci n'aurait été possible si Dominique Barles, qui a par ailleurs assuré une minutieuse tâche de relecture, ne m'avait appris le livre et Michel Barles le paysage.

"Paris s'abîmait alors dans un nuage de plâtre. Les temps prédits par Saccard [...] étaient venus. On taillait la cité à coups de sabre, et il était de toutes les entailles, de toutes les blessures. Il avait des décombres à lui aux quatre coins de la ville. Rue de Rome, il fut mêlé à cette étonnante histoire du trou qu'une compagnie creusa, pour transporter des travaux gigantesques, et qu'on dut ensuite reboucher en rapportant la terre de Saint-Ouen, lorsque la compagnie eut fait faillite. [...] A Chaillot, il aida à éventrer la butte, à la jeter dans un bas-fond, pour faire passer le boulevard qui va de l'Arc de Triomphe au pont de l'Alma. Du côté de Passy, ce fut lui qui eut l'idée de semer les déblais du Trocadéro sur le plateau, de sorte que la bonne terre se trouve aujourd'hui à deux mètres de profondeur, et que l'herbe elle-même refuse de pousser dans ces gravats. [...] Le même jour, il courait des travaux de l'Arc de Triomphe à ceux du boulevard Saint-Michel, des déblais du boulevard Malesherbes aux remblais de Chaillot, traînant avec lui une armée d'ouvriers, d'huissiers, d'actionnaires, de dupes et de fripons."

E. ZOLA, *La curée*.

INTRODUCTION

Ce travail traite d'une partie souvent oubliée de la ville, le poubélien des géologues, la pédosphère des écologues, le tuyaucien des gestionnaires de réseaux, l'exhaussement des historiens, l'archive des archéologues : autant de termes pour désigner une même strate, le *sol urbain*. Non pas l'espace plan et sans épaisseur du Plan d'occupation des sols ou du cadastre, mais leurs racines, les quelques mètres de remblais anthropiques qui couvrent la majeure partie des villes, celles qui ont une histoire, surtout lorsqu'elles occupent une plaine ou une vallée : au même titre que le fleuve dépose inlassablement ses alluvions, modifiant insensiblement la topographie des lieux, la ville grandit depuis sa fondation sur des gravats, boues, déchets organiques, restes du citadin, la seule protection contre les eaux justifiant cette prise de hauteur.

Qualifiée ou nommée, cette strate n'en est pas pour autant connue, excepté des archéologues dont elle constitue la source principale. Mais les gestionnaires de la ville n'ont que faire de ces trouble-fête auxquels ils sont parfois obligés d'accorder un délai de grâce afin qu'ils se livrent à leur encombrante marotte. Ils auraient pourtant tout à gagner à examiner ces coupes minutieuses, véritable dissection du corps urbain dont l'autopsie révélerait peut-être plus d'un dysfonctionnement.

En effet, ce sol est capricieux, ne serait-ce que parce qu'il est hétérogène : ici surconsolidé, il étrangle les racines d'une végétation aujourd'hui glorifiée ; là organique, il corrode les meilleurs aciers, produit des gaz aux effets morbides ; ailleurs parcouru par des eaux qui entraînent ses fines, il cause la rupture des canalisations, les eaux viennent à se tarir, les fondations se tassent ; plus loin infecté de pyralène — pour prendre l'exemple récent de Metz dont la presse s'est fait l'écho —, on craint pour la santé des habitants... L'histoire du sol urbain est riche d'anecdotes qui traduisent sa malignité et les coûts mis en jeu sont loin d'être négligeables, que ce soit pour la reprise en sous-œuvre des ouvrages, la réhabilitation des réseaux ou l'assainissement des sols.

Pourtant, force est de constater que ni les sciences de la vie, ni les sciences de l'ingénieur n'en ont fait un objet d'étude. Certes, les concessionnaires de réseaux tentent de gérer le chaos en inventoriant leur patrimoine enfoui, les services techniques prennent des arrêtés de coordination afin de rationaliser leurs interventions. Partout, on consolide

un sol affecté de vides, parfois naturels, souvent anthropiques, de circulations d'eau intempestives et changeantes, d'une compressibilité différentielle à laquelle les essais traditionnels de mécanique des sols sont inadaptés. Mais pas plus les géotechniciens que les services de la voirie ne cherchent à analyser les causes premières de ces désordres.

Ce milieu pourrait être le terrain de prédilection d'une écologie urbaine en pleine croissance, mais il n'en est rien. D'une part, personne — pas même les écologues — ne sait très bien ce qu'est l'écologie urbaine ; d'autre part, les pédologues se demandent encore s'il existe un sol urbain : son rôle dans le dépérissement des végétaux n'a été reconnu en France qu'en 1988.

Enfin, il n'y a pas, il n'y a plus, d'épidémiologie du sol urbain. Une recherche essentiellement basée sur la pollution atmosphérique et les maladies hydriques (et encore ne dispose-t-on d'aucun modèle de diffusion horizontale des polluants en profondeur et à long terme¹), une confiance quasi absolue dans le pouvoir épurateur du sol considéré comme un filtre et dans l'imperméabilisation salubre des zones urbaines ont détourné médecins et hygiénistes des exhalaisons terrestres.

Ainsi à Paris, ville moyenne quant à son épaisseur historique, ville de référence en matière d'équipement, ville témoin de l'encombrement du sous-sol, c'est quinze mille fois que l'on éventre la chaussée chaque année, la plupart du temps pour des réfections d'ouvrages. Un arbre fait-il grise mine ? On l'abat, on le remplace. Le sol est-il instable ? On y injecte des résines dont on ne connaît pas la pérennité dans le temps, dont on a aucun recensement, et qui accueillent une faune bactérienne qui ne laisse pas d'être inquiétante. Bref, on gère l'urgence.

D'aucuns affirment que s'est ouverte une nouvelle ère de la civilisation urbaine, ère de l'information et de la communication immatérielle. Mais la matérialité de la ville, elle, ne diffère guère de celle du XVIII^e siècle ; son assise n'est pas technologique mais constitue un chaos indescriptible dont seule une réflexion épistémologique peut éclairer les arcanes. Réflexion d'autant plus nécessaire que la rareté du sol conduit de plus en plus souvent à envisager l'utilisation intensive du sous-sol.

¹. Des recherches sont lancées en ce sens dans le cadre du Programme Environnement du C.N.R.S. : J. GIBERT, C. DROGUE, *Migration et devenir des polluants des interfaces aux écosystèmes souterrains : projet PIR-Environnement "Ecosystèmes souterrains" (1991-1994)*, note de présentation pour le PIREN, Villeurbanne : URA C.N.R.S. 367 / Montpellier : URA C.N.R.S. 1359, mars 1991.

• • •

Voici comment cette réflexion s'est imposée à nous. Face au constat du manque de connaissance du sol urbain, il nous a semblé dans un premier temps qu'il fallait mettre au point la méthode d'analyse qui faisait défaut. Le principe que nous adoptâmes est relativement simple, quoique laborieux : il consistait à reconnaître l'épaisseur de la couche historique, puis à la différencier suivant les époques de sa mise en place qui devaient correspondre, en fonction des localisations géographiques, donc des usages du sol, à autant de compositions et de comportements.

Nous avons choisi un terrain¹ et commencé notre enquête. Première étape : l'épaisseur. Connaître celle des remblais est chose relativement facile, du moins à Paris où le seul recours à la carte géologique (1/5 000) suffit. Dater les couches est beaucoup plus aléatoire. Avant d'exploiter localement les rapports de fouilles archéologiques, nous voulions faire une évaluation plus grossière, et surtout portant sur les deux derniers siècles², en exploitant d'anciens nivellements. Nous nous sommes bien entendu heurtée à deux problèmes de taille, celui du plan de référence d'une part, celui de l'existence de l'archive de l'autre. Le second, outre le temps infructueusement dépensé à rechercher les plus anciens plans complets, ceux de Buache et de Girard, n'est qu'une péripétie : un historien en aurait été averti. Le premier est quant à lui plus intéressant. En effet, pourquoi a-t-il fallu attendre 1860 pour que le zéro altimétrique soit enfin fixé en France ? Comment établir la correspondance entre les plans cotés ? Première dérive de notre travail.

¹. Les cinquième et treizième arrondissements de Paris (est de la capitale, en rive gauche de la Seine), le premier parce qu'il a connu des phases successives d'urbanisation et de désurbanisation depuis la période gallo-romaine (Cf. P. M. DUVAL, *Paris antique, des origines au IIIe siècle*, Paris : Hermann, 1961), le second en raison de son passé industriel (Cf. S. NICQ, *Tissu industriel et urbain : le XIIIe arrondissement de Paris*, Travail de fin d'études, E.N.T.P.E., juin 1987).

². Cette partie de l'exhaussement intéresse peu l'archéologie, sauf quand elle est industrielle.

Par ailleurs, la pauvreté de la littérature consacrée au sol urbain ne laissait pas de nous surprendre. Des recherches bibliographiques plus poussées, donc plus lointaines¹, nous amenèrent à rencontrer le cadastre souterrain dans les années 1930, la botanique urbaine dès le XVII^e siècle, un hygiomètre constitué de lichens en 1866, une nappe souterraine en 1742, les exhalaisons de la terre au siècle des Lumières, du soufre dans le sol urbain en 1778 et 1900, etc. Le lecteur les rencontrera lui aussi plus tard. Il ne s'agit pas d'une recherche anecdotique ou érudite de précurseurs. Non, à chaque fois, leurs propositions, leurs recherches, prenaient pied dans l'époque, jamais lointaine de la nôtre, et répondaient à une problématique proche de l'actuelle en ce qui concerne le sol urbain. Celle-ci n'est en définitive que le renouvellement de celles des années 1750-1815 en ce qui concerne les notions de milieu et de *pollution*, 1800-1840 pour la mécanique des sols, 1910-1940 pour la gestion des infrastructures : la chronologie du sol urbain n'est pas toujours calquée sur celle de l'histoire politique, économique, ou des sciences.

Là est la dérive majeure de notre projet. Nous n'avons pas inventé une nouvelle mécanique ni une nouvelle chimie des sols. Nous n'avons pas tracé les cartes percutantes que nous projetions, mais essayé d'exhumer ces savoirs et savoir-faire, de les situer dans leur contexte et de comprendre le processus des oublis successifs.

Ainsi notre recherche a-t-elle pris sa forme définitive : la constitution d'un savoir du sol urbain, l'histoire — au même titre que *l'Histoire de l'Académie Royale des Sciences* ou que *l'Histoire de la Société Royale de Médecine* — des recherches qui lui ont été consacrées.

• • •

Cette histoire est géographiquement localisée. Si dans la première partie de ce texte nous proposons un état des lieux qui appelle des travaux étrangers, nous avons tout au long de notre enquête privilégié le cadre parisien. Il est et a été en France l'objet des principales recherches relatives à l'urbanisme souterrain ; il a été le pionnier dans l'adoption des réseaux et l'implantation industrielle. En effet, de la construction du canal

¹. Nous avons ainsi adopté le parti inverse de celui des sciences dites dures, pour lesquelles une bibliographie est de qualité lorsque ses composantes ont au plus deux ans d'âge (cinq ans maximum), les travaux étant supposés très rapidement dépassés et l'abondance de la littérature permettant d'alimenter une bibliographie qui se doit d'ailleurs d'être brève. Il nous semble que, bien que ce principe ne soit pas universel, il arrive que certains thèmes de réflexion considérés comme neufs aient tout simplement été oubliés.

de l'Ourcq à l'adoption du tout-à-l'égout, Paris va constituer le référent national en matière d'assainissement de l'espace public et d'anthropisation du sol. Cependant, nous avons fait quelques incursions en province, afin d'étayer certaines de nos propositions (méphitisme des marais, topographies médicales, etc.) et plus particulièrement lorsque nous avons abordé la mécanique des sols, science en premier lieu militaire donc frontalière et dispersée dans les places fortes.

Nous n'avons pas quitté la France. Il nous semble en effet que si dans une certaine mesure le milieu urbain des pays qui ont connu la Révolution industrielle parallèlement au nôtre a dû évoluer dans le même sens (à titre d'exemple, le macadam est aussi, et antérieurement, adopté dans les villes britanniques), les modalités de sa gestion peuvent y être différentes : en France l'assainissement relève du secteur public, les ingénieurs sont au service de l'Etat et des collectivités locales, la formation des architectes reste attachée aux beaux arts, ce qui a certainement une influence sur les choix d'aménagement spatial. Ces histoires différentes peuvent d'ailleurs traduire les décalages que l'on peut constater à l'heure actuelle, notamment en matière d'écologie urbaine : si elle balbutie en France, elle est en Allemagne à la fois recherche et application à l'aménagement urbain ; si les études d'impact françaises ne sont bien souvent que des formalités administratives, elles constituent un outil de régulation de l'aménagement du territoire au Canada¹, etc.

• • •

Cette histoire est aussi logiquement bornée et court des Lumières à aujourd'hui. En effet, si notre démarche est historique, notre objectif est ancré dans le présent. Or, au cours de ces deux siècles et demi le sol se recouvre d'une peau longtemps poreuse, aujourd'hui imperméable ; il est investi de ses nouvelles fonctions, l'accueil des multiples réseaux ; d'organique il devient, en théorie, inorganique et minéral ; enfin, s'édifie l'imparfaite assise technique que nous connaissons aujourd'hui.

¹. Voir par exemple : M. GARIEPY, "Toward a dual-influence system : assessing the effects of public participation in environmental impact assessment for Hydro-Quebec projects", *Environmental impact assessment review* (11), 1991, pp. 353-374.

Nous ne voulons pas affirmer par là que jusqu'au XVIII^e siècle, la figure de la ville est figée dans un état pré-anthropique. Roger Dion¹, comme plus tard Bernard Rouleau², ont montré l'importance de la topographie dans l'implantation de la ville de Paris : les cheminements primitifs convergent vers l'île de la Cité, et sont dictés par la traversée de la Seine et de la Bièvre, la présence de marécages, de cols (col de la Chapelle notamment), etc. ; ils demeurent dans la ville gallo-romaine, bien que complétés par un canevas de type romain sur la rive gauche. De même, et sans tomber dans le déterminisme géographique, dès le Bas-Empire, semble-t-il, un embryon de faubourg se constitue sur la rive droite³, qui explosera dès le Haut Moyen Age avec la colonisation progressive de toute la plate-forme insubmersible située entre l'ancien bras de la Seine et son cours actuel⁴.

Mais urbaniser les zones insubmersibles ne suffit pas : selon Dion, la construction du Louvre représente la première tentative de s'affranchir de cette contrainte, qui passe par un remblaiement artificiel⁵, suivie par la construction de la Bastille et de l'enceinte de Charles V qui constitue aussi bien une défense contre l'envahisseur que contre les eaux dans sa partie orientale : c'est une chaussée qui permet de disposer de nouveaux terrains constructibles. Même procédé lors de la construction du palais des Tuileries, qui débute en 1564 : nécessité d'un important remblai⁶, le jardin restant au niveau naturel (il est encore aujourd'hui en contrebas de la chaussée) ne sera protégé qu'un siècle plus tard avec la création d'une levée (actuelle terrasse des Bords de l'eau)⁷. Contemporaine des Tuileries et l'englobant, l'enceinte de Charles IX construite en bordure de zone inondable joue elle aussi un rôle de digue⁸.

Ces grands travaux qui permettent de gagner sur l'eau s'accompagnent d'un aménagement du réseau hydrographique proprement dit. En effet, André Guillerme a

1. R. DION, "Le site de Paris dans ses rapports avec le développement de la ville", in : *Paris, croissance d'une capitale*, Paris : Hachette, 1961, pp. 17-19.

2. B. ROULEAU, *Le tracé des rues de Paris. Formation, typologie, fonctions*, 2^e éd. [1^{ère} éd. 1967], Paris : C.N.R.S., 1975, 1^{ère} partie, chap I : "les fondements du réseau topographique de Paris".

3. A. LOMBARD-JOURDAN, *Aux origines de Paris : la genèse de la rive droite jusqu'en 1223*, 2^e éd. rev. et augm. [1^{ère} éd. 1976], Paris : Ed. du C.N.R.S., 1985, chap. II : "La formation du bourg de Grève, à l'est".

4. DION, *op. cit.*, p. 34.

5. *Ibid.*, p. 35.

6. *Ibid.*, p. 37.

7. ROULEAU, *op. cit.*, p. 64.

8. *Ibid.*, p. 62.

montré le rôle de l'eau dans la vie urbaine, courante au Moyen Age, puis stagnante du Bas Moyen Age au XVIIIe siècle, eau sur laquelle sont basées la majeure partie des techniques artisanales¹. Si l'on ne peut pas parler dans le cas de Paris de *petite Venise*, comme pour de nombreuses villes du nord de la France, les métiers de l'eau y sont aussi développés ; la Bièvre est aménagée et détournée à plusieurs reprises : son cours naturel rejoint la Seine vers la rue Buffon en traversant le Jardin des Plantes ; un premier canal est réalisé en 1148, d'abord parallèle à la Seine, il emprunte *grosso modo* la rue de Bièvre avant de se jeter dans le fleuve² ; en 1368, lorsque Charles V renforce l'enceinte de Philippe-Auguste rive gauche en y implantant un fossé, la Bièvre est à nouveau canalisée (rue des Fossés-Saint-Bernard), l'ancien canal ayant été comblé, mais le tracé naturel subsistant³ ; un arrêté de 1672 ordonne la suppression du second canal et seul le tracé naturel demeure⁴. Par ailleurs, la modification de la topographie urbaine passe aussi par les modalités de gestion des déchets : les voiries, ou dépotoirs, sont souvent installées dans des dépressions de terrain comblées petit à petit, jusqu'à créer des éminences, voire de réelles buttes, qui accueilleront tout naturellement les moulins à vent⁵.

Enfin, aux XVIIe et XVIIIe siècles, un réseau viaire formé de rues larges et aérées, agrémenté de places⁶ se superpose au canevas des rues médiévales, cristallisé au XVe et XVIe siècles⁷ ; les boulevards remplacent les fortifications rive droite, et celles qui auraient dû être, rive gauche. De même, d'importants travaux de terrassement, qui succèdent à ceux que nous avons déjà évoqués et ne sont donc pas propres à la seconde moitié du XVIIIe siècle, comme l'affirme Bruno Fortier⁸, sont-ils imposés par la construction des quais — les premiers d'entre eux remontent au XIVe siècle, mais constituent des opérations ponctuelles — et la réunion des îles. L'île aux Vaches est réunie à l'île Notre-Dame au début du XVIIe siècle (1614), pour former l'île Saint-

¹. A. GUILLERME, *Les temps de l'eau : la cité, l'eau et les techniques. Nord de la France, fin IIIe-début XIXe siècle*, Seyssel : Champ Vallon, 1983.

². BONAMY, "Sur le cours de la rivière de Bièvre ou des Gobelins", *Histoire de l'académie royale des inscriptions et belles lettres (...) XIV (1738-1740)*, 1743, pp. 267-268.

³. *Ibid.*, p. 275.

⁴. *Ibid.*, p. 283.

⁵. Voir par exemple le *Plan de Gomboust*, représentant Paris vers 1647-1649.

⁶. *Ibid.*, pp. 64-65.

⁷. ROULEAU, *op. cit.*, p. 14.

⁸. B. FORTIER, "La politique de l'espace parisien à la fin de l'ancien régime", in : FORTIER (ed.), *La politique de l'espace parisien (à la fin de l'ancien régime)*, Paris : CORDA, 1975, p. 21.

Louis¹ ; plusieurs îlots sont réunis en 1678 pour former l'île aux Cygnes², elle-même rattachée à la berge pour prolonger le quai d'Orsay à la fin du XVIII^e siècle, ce qui représente le comblement d'un bras de Seine de 60 m de large et de 1 700 m de long³.

Cependant, même s'il est difficile de découper l'âge classique en termes d'histoire urbaine, les rapports écologiques de la ville avec son milieu vont être remis en question avec le siècle des Lumières. Non pas que, jusque là, les citadins aient eu un comportement passif s'inscrivant dans le cycle de l'écosystème, au même titre que d'autres espèces animales, comme le jugent à grands coups de brosse les bio-historiens. Leur analyse, selon laquelle on peut réduire l'histoire de l'humanité à quatre phases écologiques bien distinctes⁴, est loin de nous satisfaire. Selon ses promoteurs, on peut distinguer une phase des premiers âges, au cours de laquelle les activités humaines "différent peu de celles des autres mammifères omnivores dans la nature de leurs interactions avec les autres composants des écosystèmes dont ils faisaient partie"⁵, la particularité de l'homme résidant dans l'usage du feu — aux conséquences encore faibles et uniquement destructives —, et dans ses multiples migrations, sous tous les climats. Les deux étapes suivantes (phase agricole il y a 12 000 ans, phase urbaine il y a 5 000 ans) ont des caractéristiques similaires : l'homme commence à changer la face du monde (déforestation, transfert anthropique de plantes et d'animaux, sélection animale et végétale, production d'énergie extrasomatique⁶, métallurgie, sédentarisation, monoculture), avec des effets négatifs sur les groupes humains eux-mêmes : division et monotonie du travail, instinct de propriété entraînant des conflits, dépendance alimentaire,

¹. L. M. TISSERAND, "Les îles du fief de Saint-Germain-des-Prés et la question des cimetières au XVI^e siècle", *Bulletin de la S.H.P.I.F.* 4, 1877, p. 114.

². *Ibid.*, pp. 127-129.

³. R. SOYER, *Géologie de Paris*, Paris, 1953, p. 344. Voir aussi : O. ZUNZ : "Etude d'un processus d'urbanisation : le quartier du Gros-Caillou à Paris", *A.E.S.C.* 25(4), juil.-août 1970, pp. 1024-1065.

⁴. S. BOYDEN, S. MILLAR, K. NEWCOMBE, B. O'NEILL, *The ecology of a city and its people : the case of Hong Kong*, Canberra : Australian National University Press, 1981, 1^{ère} partie, chap. 1 : "Ecological perspectives". Cette analyse a été reprise plus récemment dans : BOYDEN, *Biohistory : the interplay between human society and the biosphere*, Paris : UNESCO/Carnforth : Parthenon Publishing Group, 1992.

⁵. BOYDEN, MILLAR, NEWCOMBE, O'NEILL, *op. cit.*, p. 9.

⁶. L'écosystème fonctionne grâce aux apports d'énergie solaire, transformée et transmise à travers les chaînes alimentaires (ou cycles trophiques), elle constitue l'énergie somatique. A l'opposé, toute énergie apportée à l'écosystème pour en augmenter le rendement (engrais notamment) ou pour une production non biologique (artefact) est qualifiée d'extrasomatique. D'un point de vue strictement écologique, elle peut être considérée comme inutile voire nuisible.

famines, épidémies, etc. Avec la jeune phase industrielle (200 ans), les machines à énergie extrasomatique entraînent une augmentation de sa consommation plus rapide que celle de la population (alors que les courbes étaient auparavant plus ou moins parallèles), une perturbation des cycles biogéochimiques, l'apparition de nouveaux composés chimiques, une modification de la dynamique des populations humaines (médecine et hygiène). Les tenants de ce discours — qui peut être valable à l'échelle macroscopique — posent par ailleurs la première phase, la plus longue, comme la phase de référence pour laquelle l'homme serait génétiquement programmé, tous ses maux, comme ceux de la terre, venant du décalage qui existe entre son environnement naturel et ses conditions actuelles de vie (*évodéviation*s).

Nous ne pouvons retenir comme cause première de l'évolution du milieu urbain, des conditions de vie et de l'état mental des citadins, le dérapage de la consommation d'énergie extrasomatique par rapport au taux de croissance de la population, comme ces bio-historiens l'ont fait pour analyser Hong Kong. Ils ne montrent d'ailleurs rien du lien de l'un et l'autre, et ne font que constater que l'extrême densité de cette ville, inconcevable pour un citoyen australien, est, d'après leurs indicateurs, étonnamment bien supportée¹. Néanmoins, l'évolution de la part de l'énergie extrasomatique peut constituer un bon, quoique insuffisant, indicateur des rapports de l'homme avec son milieu, et l'on peut voir le rôle de la Révolution industrielle dans cette augmentation, bien que les effets anthropiques antérieurs aient longtemps été négligés².

Cependant, alors que la Révolution industrielle n'a pas encore bouleversé la France, le XVIII^e siècle, et plus précisément sa seconde partie, apparaît bien comme un pivot dans l'histoire des rapports de l'homme avec son milieu, l'annonce de la ville haussmannienne³. Médecins, chimistes, savants ou philosophes voient la ville comme un lieu de perdition morale et physique que les enquêtes lancées par la Société Royale de Médecine vont mettre en valeur. Il s'agit bien d'une analyse du milieu de vie, dans laquelle le sol, de par sa corruption, joue le rôle majeur que la littérature attribue généralement à l'air.

¹. *Ibid.*, pp. 264-274.

². Les résultats des recherches menées dans le cadre du programme "Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels" (C.N.R.S.-PIREN) montrent l'importance du facteur anthropique dès la préhistoire. *Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels*, actes du colloque de Paris, 22-23 mars 1991, Paris : Presses du C.N.R.S., sous presse.

³. M. RONCAYOLO, "La production de la ville", in : G. DUBY, (ed.), *Histoire de la France urbaine*, t. 4, *La ville de l'âge industriel : le cycle haussmannien*, Paris : Ed. du Seuil, 1983, p. 93.

Concrètement, les dysfonctionnements du système artisanal et urbain de recyclage des déchets annoncent les transformations du XIXe siècle. En effet, il nous semble que jusqu'au XVIIIe siècle, la vie urbaine repose sur le métabolisme de l'écosystème en l'adaptant à ses besoins, avec des modalités différentes selon les périodes et les mentalités (*cf supra*, eaux courantes et eaux stagnantes) : l'activité humaine prend place dans le réseau trophique. Mais il s'agit bien d'une *adaptation* du milieu naturel, basée sur une haute technicité : localisation des activités artisanales le long des cours d'eau (afin d'utiliser au mieux les propriétés chimiques naturelles et modifiées) ; aménagements du réseau hydrographique. Alors que le XIXe siècle va traduire la contradiction qui existe entre la volonté de rentabiliser les cycles trophiques (en utilisant les boues, vidanges, animaux morts, etc.) et la nécessité d'une mort biologique du sol urbain, d'une ville abiotique (*i. e.* sans vie) et qui s'instaure sous l'impulsion des Révolutions scientifique et industrielle. Si le milieu est inutile, son adaptation n'a plus lieu d'être.

• • •

Nous aurions pu choisir de ne traiter qu'un aspect du sol urbain, celui des sciences de l'ingénieur : mécanique, hydraulique, chimie, ou celui des sciences de la vie : biologie, médecine. Peut-être notre enquête en aurait-elle été plus exhaustive. Mais étant donné la polyfonctionnalité de la pédosphère urbaine — que n'a pas un autre sol — et le rôle joué par diverses disciplines scientifiques dans son façonnement, il nous a semblé plus intéressant de mener une recherche pluridisciplinaire, malgré les écueils qu'elle présente : n'étant pas médecin, peut-être avons-nous commis des erreurs d'analyse ; cependant les ouvrages de référence semblent confirmer nos présomptions. Nous avons cependant privilégié plusieurs axes de recherches, certaines disciplines dont l'influence varie d'ailleurs dans le temps.

On pourrait affirmer, sans crainte de se tromper, qu'au siècle des Lumières la plupart des sciences ou des arts (la médecine est-elle science ou art ?) se sont intéressés au sol de la ville. Nous aurions aussi bien pu aborder chacun d'eux séparément, et conclure en renouant les fils. Toutefois, il nous a semblé que la démarche historique pouvait mettre en valeur la logique tant disciplinaire qu'interdisciplinaire qui régit le sol urbain : de ce foisonnement sont nées une partie des techniques urbaines des XIXe et XXe siècles et une nouvelle discipline : l'urbanisme.

Mettre en valeur le rôle de la médecine dans l'aménagement urbain n'est point nouveau. Néanmoins, alors que les textes fondateurs de l'urbanisme paraissent montrer

une influence continue de l'hygiénisme dans la figure de la ville, il nous semble que depuis deux siècles elle se traduit plutôt par une sinusoïde amortie — si l'on nous permet ce modèle grossier : très active au XVIII^e siècle, la médecine urbaine s'efface progressivement jusqu'au Second Empire, puis reprend des forces et culmine à nouveau dans l'Entre-deux-guerres avant de quitter (définitivement ?) le théâtre urbain. Par ailleurs, les modalités de son intervention et de sa réflexion varient : si au XVIII^e siècle, les médecins portent une attention particulière au sol, essayant de décrypter ses vapeurs délétères, ils laissent peu à peu la place aux techniciens de l'eau et de l'assainissement, aux hygiénistes. Privilégiant, parfois à tort, le milieu extérieur, nous renseignant sur la biologie et la chimie du sol des Lumières, la médecine se tourne au XIX^e siècle vers le milieu intérieur, *i. e.* la physiologie.

La géographie et la description de l'espace ont aussi attiré nos regards. C'est par elles que passe la maîtrise de l'urbain. Nous n'avons pas traité de la cartographie plane, de la mise en place du cadastre, des plans qui ne s'intéressent pas à l'épaisseur de la ville, mais de la cartographie du relief qui se développe dès le milieu du XVIII^e siècle, précisément au moment où la géographie est intronisée par sa représentation à l'Académie Royale des Sciences. Tandis que les Lumières voient d'un œil neuf les montagnes, que s'instaure le découpage du territoire en bassins versants, que s'opposent neptunisme et saturnisme, il était naturel que ces représentations aient des échos dans la ville, soumise aux inondations et aux catastrophes souterraines. Alors que l'on a pu se demander si la Révolution scientifique était nécessaire à la Révolution industrielle, il est certain que la science géographique telle que conçue par Philippe Buache et ses disciples a façonné les techniques de représentation et d'appréhension de l'espace urbain, pour un temps au moins.

Analyser l'approche de l'ingénieur est plus complexe. La mécanique des sols est d'abord péri-urbaine et cherche avec avidité la solution du problème de la poussée des terres (sur les remparts, sur les digues, accessoirement sur les murs de terrasses). Mais elle rencontre de nombreux écueils qui la rendent inopérationnelle en milieu urbain : son fondement théorique, l'hydraulique, est inadéquat. Aussi les superbes modèles de poussée cohabitent-ils avec les techniques les plus empiriques de fondations : ici la science n'a pas pu apporter à la technique, elle-même souvent insuffisante. Dès le Second Empire, la mécanique des sols quitte la ville pour d'autres grands travaux, alors que la théorie produit des modèles de comportement de plus en plus sophistiqués mais dont la résolution mathématique devra attendre notre siècle. Cependant l'hydraulique devient la base des techniques d'assainissement du sol, et des premières réflexions des architectes sur la ville : là où la science de l'hydraulique est inapte à comprendre le sol, le paradigme de l'hydraulique semble pouvoir résoudre efficacement tous les maux de la cité.

Géographie, mécanique, médecine, toutes trois vont concourir à l'édification de la ville saine du XIX^e siècle¹. Mais alors qu'au XVIII^e siècle, médecins et chimistes² se partageaient la connaissance du méphitisme du sol urbain, les ingénieurs vont mettre en œuvre la rectification de la ville, au même titre que la rectification des fleuves. Au savoir sur le sol, vont se substituer les technologies d'assainissement : le sol deviendra amnésique et les pages d'histoire qui l'avaient constitué seront définitivement réduites en pâte par l'humidité souterraine. Mais le regard obsessionnel des ingénieurs ne vise pas que la salubrité : ils ont d'autres objectifs, parfois contradictoires. Un rapide amalgame montrerait que l'intervention dans l'espace dont ils régissent l'aménagement est, depuis que leur corps est institutionnalisé³, régie par le paradigme du mouvement : essor économique qui entraîne une augmentation des déplacements et nécessite une réorganisation des transports et du réseau viaire y compris dans la ville ; essor hygiéniste par la volonté de faire circuler l'air, l'eau, d'évacuer rapidement les déchets. Théoriquement recevable, cette analyse est en pratique déficiente : l'adoption dès les années 1840 d'une technique de viabilisation *mal-saine*, le macadam, générateur de boue et de poussière en est la preuve. La médecine n'y participe point. Non pas que les ingénieurs soient devenus les maîtres de la ville : les médecins sont toujours là, mais la confusion des doctrines, peut-être plus grande encore au cours du premier XIX^e siècle, l'abus de la statistique, les rend de plus en plus inopérants. Pour l'un, la phthisie pulmonaire est due à la poussière, pour l'autre, à la position courbée que nécessitent certaines professions ; chacun peut le prouver à l'aide de chiffres.

L'évacuation rapide des déchets quant à elle est une gageure : évacuation vers où ? Ils n'iront jamais bien loin. La doctrine de l'imperméabilisation, qui est généralement traduite par l'idée d'une transformation continue de la ville tout au long du XIX^e siècle, est en fait plus complexe. Elle se traduit par un renversement de perspective à l'égard du sol qui, de matière vivante, devient le filtre commode des eaux usées ; à l'égard du sous-sol qui accueille les rejets encombrants, une pseudo-imperméabilisation garantissant de ses exhalaisons dont on cherche à oublier jusqu'à l'existence. Mais ces solutions ne satisfont guère : les débats qu'elles suscitent en témoignent, et elles constituent plutôt un

¹. Nous ne voulons pas dire que la ville du XIX^e siècle est parfaitement saine, mais qu'elle y aspire.

². Nous n'avons pas abordé la chimie en tant que telle, mais elle est indissociable de la médecine des Lumières.

³. L'Ecole du Génie de Mézières est fondée entre 1748 et 1750, le Bureau des dessinateurs des Ponts et Chaussées, créé en 1747, devient Ecole vers 1770.

pis-aller face à un milieu dont la Révolution industrielle et les édiles ont enlevé la maîtrise à l'artisanat : en 1807, le nettoyage de Paris — *i. e.* l'enlèvement des boues — coûte annuellement plus de deux millions de francs¹ ; en 1870, la même somme est consacrée à l'arrosage des boulevards et avenues coûte, tandis que le seul curage des égouts encombrés de la boue des chaussées macadamisées revient à 360 000 francs², auxquels il faut ajouter 150 000 francs pour la résorption des atterrissements que le déversement des collecteurs parisiens forme en Seine³. Mais ces boues à forte teneur en sable ne valent plus rien⁴. De fait, il faudra attendre l'avènement de l'automobile pour que la ville devienne imperméable.

Il nous faut maintenant évoquer l'urbanisme. Discipline spatiale, surfacique, l'urbanisme se détourne du sol, du relief, du volume, de la pollution, de la mécanique. Son hégémonie marque la fin des convivialités disciplinaires⁵. Il cohabite bien sûr avec toutes ces disciplines, mais son monde est minéral, économique, législatif, gestionnaire. Nourri de l'hygiénisme, mais peu accroché à la notion de milieu vivant, ne sachant pas très bien ce qu'il est et voulant par conséquent strictement délimiter ses domaines d'intervention, il a choisi l'espace plan du cadastre et du plan masse. Par là, il n'a pas su établir les règles de gestion de l'épaisseur urbaine : échec relatif en ce qui nous concerne. Les tentatives infructueuses des tenants de l'urbanisme souterrain, qui travaillaient au sein d'équipes pluridisciplinaires, le montrent bien, tout comme l'incapacité actuelle des urbanistes à traiter d'écologie urbaine.

Nous avons dit que beaucoup de sciences s'étaient intéressées à la ville. On sera peut-être surpris de n'avoir trouvé ni l'écologie ni la pédologie dans ces lignes. Nous avons en effet privilégié le milieu des hommes à celui des animaux et des végétaux, ce

¹. "Tableau récapitulatif par ordre alphabétique des monuments et établissements publics de Paris (...)", *Revue polytechnique*, 1807, p. 7.

². E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, p. 179.

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *Etudes préliminaires (...)*, Paris, 1873, p. 484.

⁴. Les gadoues (ordures ménagères, détritiques des rues et résidus des marchés) sont néanmoins encore exploitées à la fin du XIX^e siècle. A Paris, les entreprises privées qui en assurent l'enlèvement y consacrent, en 1895, 2 200 000 francs. P. VINCEY, *Les gadoues de Paris et l'agriculture du département de la Seine*, Paris, 1896, p. 6.

⁵. Il faudra attendre l'après seconde guerre mondiale pour que Georges Hirsch, chargé du second plan quadriennal, appelle les différents maîtres d'œuvre de l'espace à jouer un *concerto*, à participer conjointement à l'aménagement du territoire.

d'autant plus que l'écologie, produit du XIXe siècle (c'est en tout cas la filiation établie) n'a pas de racines urbaines, à l'opposé de la notion de milieu. En témoignent les difficultés qu'elle a aujourd'hui à y prendre pied.

Nous n'avons pas non plus évoqué la question du droit du sous-sol¹, ce qui est peut-être un tort dans la mesure où la législation en vigueur — héritée du temps où la terre était plate, elle lie la propriété du sous-sol à celle du sol — est aujourd'hui mal adaptée aux occupations du tréfonds dans le cas des propriétés superposées². Il semble que, jusqu'à la construction du chemin de fer métropolitain, cette question ne se soit pas posée : les mines ont leur propre législation, et les constructions militaires souterraines devaient être implantées sous le domaine public. Peut-être qu'une recherche en archives montrerait que lorsque ce n'était pas le cas, l'Etat a dû mettre en place des modalités d'expropriation proches de celles auxquelles on a recours de nos jours.

Enfin, notre raisonnement a rarement été économique. Pourtant, l'aménagement du sol urbain comme la gestion des eaux usées et des déchets solides mettent en jeu des coûts pour le particulier, pour la collectivité, pour l'agriculteur et pour l'artisan. Mais, comme nous l'avons dit, les dysfonctionnements du cycle urbain des matières dévalorisent subrepticement les vidanges, les eaux usées et les boues qui d'enjeu économique, deviendront une charge pour la collectivité. Les causes en sont extérieures à l'économie du déchet et doivent selon nous être recherchées dans l'évolution des sciences et des techniques.

• • •

Nous avons privilégié, lorsqu'elles existaient, les sources imprimées, et en particulier les organes des corps, associations, académies ou sociétés, qui rendent compte des débats scientifiques et techniques contemporains.

Pour notre époque, il s'agit principalement de références techniques : *Tunnels et ouvrages souterrains*, organe de l'Association Française des Travaux en Souterrains (A.F.T.E.S.), qui évoque aussi les travaux de l'Association Internationale des Travaux en Souterrain (A.I.T.E.S.), actes des Congrès internationaux de mécanique des sols et des travaux de fondation (C.I.M.S.T.F.), *Techniques, sciences, méthodes*, plus connu sous son titre abrégé *T.S.M.*, organe de l'Association Générale des Hygiénistes et

¹. Nous en dirons quelques mots au chapitre IV de la seconde partie.

². Cf. B. BIZET, "Constructions en sous-sol : le droit fait son trou", *M.T.P.B.*, 30 mars 1990, pp. 52-56.

Techniciens Municipaux (A.G.H.T.M.), publications émanant du ministère de l'Équipement ou de ses services techniques (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Service Technique de l'Urbanisme, Plan Urbain, Plan Construction, etc.) ou rapports d'étude ou de recherche réalisés pour le compte de ces mêmes organismes.

Le cas de l'écologie est plus délicat : comme nous le verrons, l'écologie urbaine française est très dispersée — les *Cahiers du S.R.E.T.I.E.* (aujourd'hui *REED-Sretie info*) et la *Lettre du programme Environnement* (qui résume les recherches incitatives menées dans le cadre de ce programme du C.N.R.S.) montrent bien sa quasi absence — et nous avons dû collecter des documents épars et inégaux, tout en étayant notre réflexion de publications étrangères, notamment celles qui sont produites dans le cadre du programme Man and Biosphere (MAB) de l'UNESCO.

Mais publications et littérature grise ne suffisent pas, et ce sont principalement des rencontres avec professionnels et chercheurs de toutes disciplines susceptibles d'être concernés par le sol urbain qui ont alimenté notre état des lieux : Service Technique de l'Urbanisme, Inspection Générale des Carrières, Services Techniques de la ville de Paris (assainissement, espaces verts, nivellement), Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain, Commission du Vieux Paris, Service de Recherche, d'Étude et de Traitement de l'Information sur l'Environnement du ministère du même nom, Régie Autonome des Transports Parisiens, UNESCO (division des sciences écologiques), Programme interdisciplinaire de recherches sur l'environnement du C.N.R.S. (plus particulièrement eaux continentales). En outre, la participation à différents projets de recherche nous a amenée sur le terrain.

La seconde partie suit la même logique et repose sur le dépouillement de divers périodiques : au XVIII^e siècle, *Histoire et mémoires de l'Académie Royale des Sciences* (1699-1790), *Histoire et mémoires de la Société Royale de Médecine* (1776-1789) ; au XIX^e, *Annales d'hygiène publique et de médecine légale* (1829-1922, notamment la première série, 1829-1853), *Annales des ponts et chaussées* (fondées en 1831), *Mémorial de l'officier du génie* (1802-1840), *Mémorial de la guerre* (1804-1816) ; au début du XX^e siècle, congrès de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (A.I.P.C.R.), et pour l'urbanisme souterrain, l'organe du G.E.C.U.S. (Groupe d'Étude du Centre Urbain Souterrain, puis Groupe d'Étude et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain), *Le monde souterrain* (1933-1967), *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (1967-1970), *Travaux souterrains* (1971-1975), ainsi que les actes de ses congrès internationaux.

Cependant, le recours à l'archive s'est souvent avéré nécessaire : pour la mécanique des sols, de nombreux mémoires n'ont pas été publiés et sont archivés à l'École Nationale

des Ponts et Chaussées et aux Archives du Génie. En ce qui concerne la cartographie, nous avons fait de nombreuses et infructueuses recherches afin de trouver des nivellements dont nous savions qu'ils avaient été réalisés, mais non publiés ; en outre, nous avons cherché à établir la correspondance des échelles utilisées à Paris ; enfin, le débat autour de ce thème n'ayant fait l'objet que de peu de publications, nous avons erré aux Archives de la Seine, du Génie, Nationales, des Canaux, de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, de l'Académie des Sciences, etc. Si les champs d'épandage ont fait l'objet de publications, ce n'est pas le cas des puits d'absorption ; certaines pièces y relatives figurent aux Archives de la Seine. La Bibliothèque administrative de la ville de Paris aurait pu nous fournir certaines pièces administratives introuvables ailleurs, elle est malheureusement fermée pour travaux depuis avril 1992.

• • •

Les deux parties qui constituent ce travail ne sont pas proportionnées en volume. La première doit être considérée comme un avant-propos, la source de nos réflexions ultérieures. Il est peut-être étrange de commencer une histoire par la fin — pourtant la plupart des romans policiers ne débutent-ils pas par le meurtre ? — mais rappelons que notre objectif est contemporain. Ces "images du chaos" constituent un état des lieux de la connaissance sur le sol urbain, essayent d'en montrer les lacunes dont on trouvera parfois les causes immédiates mais non les causes premières, que nous chercherons dans la deuxième partie de ce texte. Pour reprendre des catégories émises par Erwin Panovsky, notre première partie tient de *l'iconographie* urbaine, la seconde de *l'iconologie*¹.

Nous traitons en premier lieu des réseaux qui, s'ils sont concernés au premier chef par leur milieu d'accueil, ne font pas ou peu l'objet de recherches dans ce sens ; ils alimentent d'autres réflexions. Abordant plus généralement la mécanique des sol et les fondations d'ouvrages, nous mettons en exergue la notion de subsidence, qui ne peut admettre l'exhaussement, malgré certains travaux étrangers (chap. I).

Nous quittons alors la terre mécanique pour la pédosphère. Nous verrons comment les pédologues, peu férus du milieu urbain, se sont à petits pas prudents rapprochés de la ville, sous l'impulsion d'une écologie urbaine dont nous retraçons brièvement la genèse. Nous serons alors amenée à proposer un bilan sommaire des connaissances du sol comme élément du biotope en montrant les lacunes (chap. II).

¹. E. PANOVSKY, *Essais d'iconologie*, Paris, 1972.

Nous pourrions ainsi aborder l'histoire (deuxième partie) dont la chronologie très classique semble généralement adaptée au sujet traité : elle s'est naturellement imposée à nous¹.

Au siècle des Lumières (chap. I), la terre est, par sa malignité même, source de richesse (§ I.1). En effet, pour les médecins, le méphitisme procède souvent d'en-bas : des mines, des marais, des cimetières, des fosses d'aisances, parfois des terres cultivées — ici, nous avons dû englober les réflexions sur la ville avec celles sur le milieu en général. Car il nous semble que les réflexions médicales et pré-hygiénistes se basent sur une conscience des cycles trophiques mis en jeu dans la putréfaction et du milieu comme le montrent les topographies médicales réalisées sous l'égide de la Société Royale de Médecine (§ I.1.2), cycles et milieu qui concourent d'ailleurs à la productivité pré-industrielle (§ I.1.3).

Cependant, et toute l'ambiguïté des Lumières est là, la salubrité de l'air demeure au centre des débats pré-hygiénistes (§ I.2.1). Nous verrons au travers de trois exemples comment d'une part le cycle des matières n'est pas admis par tous les scientifiques, d'autre part que pour certains médecins, la terre n'altère l'air qu'en le rendant plus ou moins chaud ou plus ou moins humide, ce qui pour eux explique la plupart des maladies ; enfin que les découvertes de la chimie, en particulier la composition de l'air, occultent parfois le rôle du sol, d'autant plus que l'on craint la surpopulation urbaine².

Alors que ces recherches annoncent, malgré une certaine confusion, les premières interventions hygiénistes sur l'espace urbain, les géographes, en particulier Philippe Buache, et les ingénieurs militaires élaborent les outils cartographiques qui les rendront possibles (mais leurs travaux seront peu diffusés) : la ville n'est qu'une des figures de la terre (§ I.2.2, a), terre dont ces mêmes ingénieurs vont chercher à modéliser le comportement avec les outils de la science (§ I.2.2 b, c). Si leur présence rompt le rythme du récit jusqu'ici axé sur le méphitisme, on ne peut passer leur apparition sous silence si l'on veut comprendre l'essor des techniques urbaines dès la Révolution. D'autant plus que c'est forts des travaux des médecins, des géographes et des ingénieurs que les

¹. Nous avons néanmoins commis une petite incartade autour des travaux de P. S. Girard (2e partie, chap. II, § II.1.2). D'une part parce que Girard est un homme de l'Empire, même si ses activités se poursuivent à la Restauration. D'autre part, et en ce qui concerne le nivellement, parce que les débats postérieurs à 1815 ne sont que la continuation des précédents, sans rupture notable, et sont plus consacrés à la reconnaissance du territoire qu'à celle de la ville.

². Cette partie (§ I.1 à I.2.1 inclus) est un peu disproportionnée par rapport aux suivantes, et l'abondance des citations en rend parfois la lecture laborieuse. Nous nous situons dans un champ bien balisé par la littérature contemporaine, sans partager les conclusions habituellement admises (voir l'introduction du chapitre I, et le § I.1.1, a), il fallait d'autant plus étayer nos dires.

architectes vont imaginer la ville future saine et minérale, débarrassée de ses miasmes et de ses productions artisanales : s'il faut évoquer les écrits d'un Pierre Patte, c'est qu'ils constituent une synthèse des inquiétudes de son temps qui permet de clore ce premier chapitre (§ I.2.3).

La Révolution et l'Empire (chap. II) confirment les hypothèses précédentes : montée en puissance des ingénieurs (§ II.1), effacement — temporaire — des médecins (§ II.2). De grands chantiers hors et surtout dans la ville vont permettre aux ingénieurs de se sensibiliser au comportement réel des sols, de préciser les techniques de fondations qui restent cependant basées sur l'empirisme, de mettre une première fois en œuvre les préceptes hygiénistes des Lumières avec à Paris la construction du canal de l'Ourcq. Ils pressentent que le comportement du sol ne peut se résoudre à une loi théorique, comme l'ingénieur Pierre-Simon Girard, dont le rôle montre l'essor de l'Ecole des Ponts et Chaussées, pressent qu'il faut unifier les méthodes de nivellement, que le milieu urbain et le territoire tout entier ne seront maîtrisés qu'au prix d'une reconnaissance topographique et non plus géométrique, que le sol urbain ne peut être compris sans un recours à l'histoire.

A l'opposé, médecine et hygiénisme semblent bien piétiner (§ II.2). La première ne sort pas indemne de la tourmente révolutionnaire ; déroutée par la multiplicité des analyses du XVIII^e siècle, troublée par les découvertes de la chimie, elle semble renoncer à décrypter les exhalaisons de la terre. Cependant, une certitude persiste : pour s'en garder, à défaut de les analyser, il faut les juguler, leur faire obstacle par l'étanchéité, première remise en cause de la rentabilisation des cycles trophiques car la propreté n'est pas forcément une économie.

Révolution, Consulat et Empire constituent donc bien le pivot de notre enquête puisqu'ils se traduisent par un essor des techniques et un relatif renoncement des sciences.

La phase qui s'étend de la Restauration à la Belle Epoque (chap. III) ne pouvait être traitée de la même façon que les précédentes : les champs disciplinaires évoluent en même temps que la ville se transforme profondément. Nous avons donc choisi de présenter en premier lieu les mutations des disciplines (§ III.1 et III.2) puis d'en montrer les conséquences sur l'espace urbain (§ III.3 et III.4).

En ce qui concerne la médecine (§ III.1), la nouvelle offensive d'épidémies meurtrières (choléra notamment) va relancer les débats sur les causes premières des

maladies. Cependant, à l'analyse du milieu telle que la pratiquaient les médecins des Lumières va se substituer une mathématique des pathologies, par le recours pas toujours heureux à la statistique. Parallèlement, les analyses de Parent-Duchâtelet restent proches des précédentes, mais entachées d'une certaine complaisance à l'égard de l'insalubre : la caution scientifique du savant s'instaure en justification des actes de l'administration (cf. § III.4.2. et III.4.3.). Le sol n'a pourtant pas complètement été oublié, mais à un méphitisme général se substituent des causes locales d'insalubrité, étudiées par les Conseils de salubrité. En définitive, la médecine hygiéniste est marquée par un mouvement de va-et-vient qui ne se stabilisera qu'avec Pasteur.

Parallèlement se développe chez les ingénieurs une physique du sol (§ III.2), dans laquelle nous avons privilégié deux champs d'étude : la perméabilité et la compressibilité, dont les destinées sont par ailleurs différentes. Il nous a paru important de montrer que, en un temps où l'imperméabilisation apparaît comme l'un des maîtres mots de l'urbanisme naissant, le concept même de perméabilité variait suivant les disciplines (§ III.2.1) : perméabilité grossière de l'hydraulique, soumise à une loi pour la filtration des eaux, macroscopique d'Eugène Belgrand — la place de Belgrand est ici justifiée par son rôle dans l'aménagement de Paris.

Si l'équation de Darcy demeure à la base de l'étude de l'écoulement de l'eau dans le sol, les analyses de la compressibilité n'auront pas la même postérité (§ III.2.2). Là encore, l'empirisme demeure, malgré des propositions intéressantes — elles ne connaîtront pas de développement car la mécanique des sols va par la suite abandonner l'urbain. D'une part, si après l'avoir condamné ils reviennent à Coulomb, les ingénieurs constatent qu'il a oublié de prendre en compte dans sa théorie la compressibilité du sol de fondation, qui peut favoriser la rotation des murs de soutènement. D'autre part, la remise en cause des techniques traditionnelles de fondation (pilotage et damage) comme la découverte d'un nouveau matériau, le sable, permettent d'affiner la compréhension des tassements, ou plutôt de la diminution de volume du sol chargé ; les conséquences en seront particulièrement importantes pour la fondation des ouvrages urbains. Enfin, dernière forme de compressibilité, celle des routes dont la pérennité inquiète ingénieurs et pouvoirs publics ; la route élastique à la macadam, qui recevra leur aval, va changer la face de la ville (cf. § III.4.1, a, c).

Dès la Monarchie de Juillet, les ingénieurs peuvent ainsi réaliser en grand la canalisation souterraine de la capitale, corollaire de l'adduction en eau : aux bassins versants naturels se substituent ceux du réseau qui devrait définitivement assainir le sol (§ III.3). Mais on est en pratique loin de la ville abiotique préconisée par Patte, et de nombreux dysfonctionnements se font jour (§ III.4).

A l'intérieur de la ville (§ III.4.1), force est de constater que la surface est toujours poreuse. Les différents revêtements adoptés ont des conséquences variables sur le milieu : le pavage favorise la corruption des eaux des puits, alors que l'usage de nouveaux matériaux de construction et du gaz modifie la composition du sol ; le macadam produit boues et poussières qui inquiètent les médecins et engorgent les égouts, égouts dont la construction ne va pas sans soulever de nombreuses difficultés qui montrent la stagnation des techniques urbaines de construction. Enfin, le sous-sol s'encombre de nouveaux réseaux.

Ainsi, de nouvelles causes d'insalubrité s'ajoutent-elles aux précédentes, mais aux réflexions des Lumières se substitue une politique d'urgence. Que faire des eaux usées, nouveau résidu de la vie urbaine ? Ce sont successivement les entrailles de la terre (§ III.4.2) et les terres incultes que l'on espère de cette façon rendre fertiles (§ III.4.3) qui vont les accueillir. Dans un cas comme dans l'autre, on cherchera à démontrer l'innocuité de la méthode : les enquêtes du XVIII^e et du début du XIX^e siècles ont été oubliées, et il est commode de ne pas s'en souvenir.

Le XIX^e siècle livre au XX^e un espace qui n'est que partiellement assaini. L'automobile en favorisera l'imperméabilisation définitive ; l'urbanisme en assurera la gestion (chap. IV). Cependant, l'encombrement du sous-sol relance pour un temps les recherches sur le sol urbain. Non plus le sol vivant des Lumières — dont seuls les botanistes ont conservé la mémoire — mais le sol technique des réseaux et, pourquoi pas, de l'urbanisme souterrain (§ IV.2). Recherches qui recevront peu d'écho et sombreront naturellement dans l'oubli.

Si la gestion du sol urbain telle qu'instaurée au XIX^e siècle et perfectionnée au début du XX^e a pour un temps satisfait aux exigences des citadins, de nombreux problèmes se feront jour dans la ville du XX^e siècle : la rareté de l'espace, la congestion de la circulation, le vieillissement et la multiplication des réseaux, la pollution des sols doivent amener sciences de la vie et sciences de l'ingénieur à réinvestir le champ urbain, non en plan mais en coupe.

**PREMIERE PARTIE :
IMAGES DU CHAOS**

CHAPITRE I : RÉSEAUX ET FONDATIONS

I.1. VOIRIE ET RÉSEAUX DIVERS

I.1.1. SOL TECHNIQUE

La révolution industrielle a donné les réseaux à la ville : eaux, énergie, information, lumière. Les règles de dimensionnement en sont bien connues des ingénieurs et pourraient se traduire par des organigrammes relativement simples, qu'il s'agisse de l'estimation de la demande ou de l'épaisseur des tuyaux. Il n'est pas lieu ici de les rappeler.

De même, de nombreuses recherches¹ ont-elles pu mettre en exergue les points communs qui unissent toutes ces infrastructures : ainsi sont nés la réseautique² et le génie urbain³, qui décryptent les logiques de gestion, mais aussi les logiques économique, politique et sociale du réseau, toile d'araignée désincarnée, et qui témoignent de l'impact de la théorie de l'information en général et de l'informatique⁴ en particulier dans toutes les disciplines scientifiques ou para-scientifiques.

Quant à la réalité physique des réseaux, elle est, en théorie, parfaitement maîtrisée ; leur implantation est dictée par des règles strictes de bon voisinage (tableau 1). Le caniveau du chauffage urbain ne peut jouxter le câble électrique ou de télécommunications — en raison des risques de fusion des gaines —, ni la canalisation d'eau potable —

¹. Notamment dans le cadre du Groupement de Recherche Réseaux du C.N.R.S. (G.D.R. 903) auquel appartient le laboratoire Théorie des Mutations Urbaines. Pour un bilan des recherches qui y sont menées, voir : *Première table ronde du groupement de recherche "Réseaux"*, actes de la table ronde des 20-21 mai 1992, Noisy-le-Grand : G.D.R. "Réseaux" C.N.R.S., 1992, exempl. dactylogr.

². Voir par exemple : G. DUPUY, *Systèmes, réseaux et territoires : principes de réseautique territoriale*, Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1985 ; et, du même auteur, *L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes*, Paris : Armand Colin, 1991.

³. "L'art de concevoir, de réaliser et de gérer les réseaux techniques (ou physiques) urbains". C. MARTINAND, *Le génie urbain, rapport au ministre de l'équipement, du logement, de l'aménagement et des transports*, Paris : Documentation Française, 1986, p. 42.

⁴. Non de l'informatique en tant qu'outil de modélisation de différents phénomènes, mais de cette discipline lorsqu'elle se consacre à l'analyse du fonctionnement des ordinateurs.

l'échauffement de l'eau peut entraîner une prolifération bactérienne —, il doit être situé à une profondeur suffisante pour ne pas détériorer les racines des arbres¹.

Tableau 1. Contraintes entre réseaux pour les parcours parallèles.
(les distance sont indiquées en centimètres)

SERVICE SUBISSANT LA CONTRAINTE	ASSAI- NISSE- MENT	EAU	ELECTRICITE				TELECOMMUNICATIONS		ECLAIRAGE PUBLIC	SIGNALI- SATION	GAZ	CHAUFFAGE URBAIN
			T.B.T.	B.T.	M.T.	H.T.	URBAIN	NATIONALES				
ASSAINISSEMENT			PAS DE CONTRAINTES PARTICULIERES									
EAU	40 PH		40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH*
ELECTRICITE T.B.T.	20	20									20	50
B.T.	20	20									20	50
M.T.	20	20									20	50
H.T.												
« TELECOM » URBAIN	20	20	20	20	20	20			20	20	20	50
TELECOM NATIONALES	20	50 PH	50 PH	50 PH	50 PH	50 PH			50 PH	50 PH	50 PH*	50
ECLAIRAGE PUBLIC	20	20					40	40				
SIGNALISATION	20	20					40	40				(1)
GAZ	40 PH	40	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH	40 PH		(1)
CHAUFFAGE URBAIN			PAS DE CONTRAINTES PARTICULIERES (2)									

(1) Fonction de la température du sol.
(2) Correspond à une exigence d'espacement de l'ordre de 0,10 m sauf convention passée entre les concessionnaires concernés.
* ph = projection horizontale.

Source : *La coordination technique : recommandations pour la coordination des V. R. D. dans les opérations d'aménagement*, vol. 2, *Les conduites enterrées*, Paris : S.T.U., 1986, p. 15.

En outre, on peut envisager, en milieu péri-urbain ou lors de rénovations d'importance, l'adoption des galeries ou caniveaux techniques. Les premières ne sont qu'une version améliorée de l'égout haussmannien : grands ouvrages visitables qui accueillent tous les réseaux, les mettant à l'abri des contraintes extérieures et permettant un entretien facile. Les seconds, de dimensions réduites, se substituent aux bordures de trottoirs et accueillent principalement les câbles (les conduites d'eau risquent d'éclater sous l'action du gel). Le nec plus ultra est atteint avec l'Infrastructure Urbaine

¹. La face extérieure du caniveau a généralement une température de 30°C.

Industrialisable (I.U.I.), conçue (en collaboration) par la Société des tuyaux Bonna grâce à un financement EUREKA et caractérisée par :

- le groupement des réseaux à l'intérieur d'une structure préfabriquée en béton, accessible par dalle de couverture ;
- l'automatisation de leur gestion, à l'aide de capteurs fixes, d'un chariot mobile avec caméra vidéo de télésurveillance, d'un robot mobile télé-opéré en autonomie et d'un poste de contrôle central¹.

Cependant, malgré les manuels de cours et les publications des services du Ministère de l'Équipement², la gestion quotidienne des réseaux s'avère complexe et, malgré une apparente rationalité, approximative : en pratique, les réseaux ont souvent été implantés au gré des besoins, et il est douteux que les règles que nous avons évoquées soient universellement respectées ; de plus, l'application de ces normes n'est possible que si l'emprise de la chaussée est suffisante.

En ce qui concerne les galeries et caniveaux techniques, force est de constater que leur accueil est pour le moins mitigé. Les galeries techniques s'avèrent très coûteuses et les différents gestionnaires de réseaux y cohabitent difficilement ; elles se sont principalement développées dans les villes nouvelles (Melun-Sénart, Marne-la-Vallée) qui en comptent aujourd'hui quelques kilomètres. En revanche, cette technologie est particulièrement encouragée au Japon, à Tokyo en particulier qui en compte aujourd'hui un linéaire de quatre-vingts kilomètres, croissant au rythme annuel de cinq à six kilomètres : là-bas la galerie technique passe pour une garantie supplémentaire contre les tremblements de terre. Les bordures techniques quant à elles présentent des inconvénients pour les branchements et pour l'entretien³ et M. Misson suggère que la tranchée commune pourrait constituer un bon compromis entre la galerie technique et la dispersion des réseaux⁴. Aussi, si l'on peut voir un défi dans l'I.U.I., comme le pense Dominique

¹. A. VISNOVEC, M. BIZIEN, R. SCHELL, S. TACONET, *Un nouveau concept pour l'espace urbain : l'Infrastructure Urbaine Industrialisable*, s. l. n. d., pp. 4-5.

². Notamment les fascicules 70 et 71 du *Cahier des clauses techniques générales* (1978), relatifs à la fourniture et à la pose des canalisations, aux ouvrages annexes pour l'eau potable et l'assainissement.

³. Venue d'eau dans le caniveau, présence de rongeurs qui n'épargnent pas les câbles, détérioration des dalles en béton par les poids lourds, difficultés d'ouverture des dalles, etc. *La coordination technique : recommandations pour la coordination des V. R. D. dans les opérations d'aménagement*, vol. 4, *Les réseaux en ouvrage*, Paris : S.T.U., 1987, p. 22.

⁴. M. MISSON, "La coordination des travaux de voirie et réseaux divers en site urbain", *T.O.S.* (60), 1983, p. 287.

Drouet¹, il nous semble que ce type d'ouvrage ne représente pas un enjeu pour les villes françaises.

¹. D. DROUET, "Systèmes d'acteur et innovation : questions posées par les Infrastructures Urbaines Industrialisables", in : *Les opérateurs de réseaux urbains*, rapport du groupe de travail "Opérateurs de réseaux" du G.D.R. Réseaux, Noisy le Grand : C.N.R.S./G.D.R. 903, vol. 1, déc. 1990, pp. 78-79, exempl. dactylogr. Par ailleurs, il nous semble surprenant l'I.U.I. soit préconisée par ses promoteurs pour les pays en voie de développement. VISNOVEC, BIZIEN, SCHELL, TACONET, *op. cit.*, p. 10.

I.1.2. ENCOMBREMENT DU SOUS-SOL

De fait, la très grande majorité des réseaux enterrés est implantée sous la voirie pour des raisons d'accessibilité et droit du sol. Une déclaration d'utilité publique serait nécessaire pour une implantation dans le domaine privé ; on n'y a recours que lorsqu'il s'agit de grosses infrastructures tel que le Réseau Express Régional (R. E. R.) — on imagine en effet assez bien la difficulté qu'il y aurait à respecter le suivi de la voie publique pour de tels travaux, d'autant plus que l'emprise nécessaire peut être supérieure à celle de la voie¹. Ainsi, les 2 530 hectares de la voirie parisienne (soit 1 530 hectares de chaussées et 1 000 hectares de trottoirs, et 30 % de la surface de la capitale, hors bois de Boulogne et de Vincennes²) accueillent-ils "un maillage extrêmement complexe d'équipements divers : 2 000 km d'égouts, 169 km de métro, 20 km de R.E.R., plus une dizaine de réseaux³ de canalisations, de câbles, qui saturent totalement la tranche du sous-sol qui va jusqu'à 10 mètres de profondeur."⁴ La complexité est maximale dans les trois premiers mètres de sol que d'aucuns qualifient de *tuyaucien*, par opposition au *métroparcien* (métro et stationnement, de trois à trente mètres de profondeur), et à un éventuel *lasérien*, plus bas encore⁵.

L'encombrement du sous-sol préoccupe de nombreux gestionnaires de réseaux, d'autant plus que le concessionnaire qui intervient sous la voirie ne connaît pas toujours parfaitement le réseau dont il a la charge : le service des égouts de la ville de Paris ne possède pas un plan complet des canalisations qui sont de son ressort⁶, de nombreux câbles ne figurent pas sur les plans réactualisés d'E.D.F. ou de France Télécom, alors qu'ils sont parfois toujours en service⁷ ; à Caen, les câbles électriques antérieurs à la

¹. Cf. P. ALLINNE, "Expropriation en tréfonds dans la région parisienne : les modalités d'indemnisation", *T.O.S.* (52), 1982, pp. 168-173.

². J. GOURLET, "Aujourd'hui la voirie", in : *Paris et ses réseaux : naissance d'un mode de vie urbain, XIXe-XXe siècle*, Paris : B.H.V.P./Agence culturelle de Paris, 1990, p. 87.

³. Electricité, gaz, télécommunications, chauffage urbain, air comprimé, et même pipeline en banlieue de Paris.

⁴. M. DOUBLET, "L'utilisation du sous-sol : des parcs de stationnement à la circulation souterraine", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (23), 1988, pp. 115-116.

⁵. R. DUSSART, Intervention dans le débat : "L'encombrement du sous-sol parisien", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (23), 1988, p. 155.

⁶. La cartographie informatisée, confiée à la société SAGEM, en est cependant en cours.

⁷. Ainsi, lors de l'aménagement du nœud autoroutier de Bobigny en 1970, une pelleteuse a sectionné le câble téléphonique reliant l'Elysée au Palais Royal de Bruxelles : les services des P.T.T. le croyaient enterré à 500 mètres de là, confiance de l'ingénieur subdivisionnaire de l'Équipement d'alors.

seconde guerre mondiale ont été ensevelis sous deux millions de mètres cubes de gravats et se manifestent à chaque ouverture de chantier.

Enfin, il faut remarquer que si les concessionnaires ne connaissent pas leur propre réseau dans sa totalité, à plus forte raison n'existe-t-il pas de plan d'ensemble des infrastructures souterraines dans beaucoup de villes. Pour compliquer encore les choses, on ne peut accéder aux données concernant certains réseaux stratégiques, tel le réseau d'oléoducs construit entre 1952 et 1962 (géré par la société TRAPIL) qui transporte des hydrocarbures du Havre à Paris¹ : implanté pour une part en proche banlieue parisienne, il laisse nécessairement échapper quelques mètres cubes de pétrole qui vont infecter les nappes.

L'encombrement du sous-sol s'accompagne d'une réalisation souvent anarchique des interventions sur réseaux enterrés ou sur chaussée urbaine, chacun ouvrant une tranchée quand bon lui semble. Il existe néanmoins des tentatives de coordination des travaux :

- à Paris : arrêté municipal du 1er février 1978 portant sur les conditions de réalisation des travaux sur la voie publique² ;
- à l'échelle nationale : loi du 22 juillet 1983 (n° 83-663) et décrets du 27 novembre 1985 (n° 85-1262 et n° 85-1263) qui permettent aux collectivités territoriales d'avoir une meilleure maîtrise de la gestion locale et devraient les inciter à élaborer des règlements de voirie et des arrêtés de coordination relatifs aux travaux de voirie et réseaux divers³.

Le principe de l'arrêté de coordination est simple : chaque année, la ville réunit les concessionnaires de réseaux qui lui communiquent leurs projets d'extension ou de rénovation. Sur cette base, un planning annuel ou bisannuel est établi afin de limiter les ouvertures de tranchées en regroupant les interventions et de ne prévoir les réfections de chaussées qu'après l'intervention des gestionnaires de réseaux enterrés. La coordination

¹. J. VINCENT-GENOT, "Le réseau français de pipelines de l'OTAN", *Travaux* (279), janv. 1958, pp. 5-14.

². MAIRIE DE PARIS - DIRECTION DE LA VOIRIE - SERVICE TECHNIQUE DE LA VOIE PUBLIQUE, *Conditions de réalisation des travaux sur la voie publique*, Ville de Paris, janv. 1989, n. p.

³. *Interventions sur voiries urbaines - Guide pour l'élaboration au plan local : arrêté de coordination et règlement de voirie*, A.I.V.F./CETUR/L.C.P.C., 1989, pp. 5, 71-75.

devrait permettre, outre une meilleure gestion de l'espace public, une connaissance plus précise des réseaux puisqu'elle conduit la municipalité à centraliser les données concernant les différents concessionnaires. Toutefois, l'enquête menée par l'Association des Ingénieurs des Villes de France (A.I.V.F.) en 1988 et à laquelle cent trente-trois villes ont répondu montre que :

- 78 % des villes ne disposent pas d'un arrêté de coordination conforme au décret n° 85-1263 (arrêté à établir ou à adapter) ;
- 68 % ne disposent pas d'un règlement de voirie conforme au décret n° 85-1262 (règlement à établir ou à adapter)¹.

En outre, toutes les interventions ne sont pas coordonnables, seuls les travaux programmables au moment de l'établissement du calendrier pouvant faire l'objet de coordination. Une enquête portant sur trois secteurs de la communauté urbaine de Lyon (3^e arrondissement de Lyon, commune de Corbas, commune de Caluire-et-Cuire) au cours de la période 1986-1988 montre que sur la totalité des ouvertures de fouilles, 81 % correspondent à des travaux urgents — dont 8 % sont des branchements qui nécessitent un accord préalable six semaines avant travaux —², dans une agglomération où l'on compte chaque année 10 000 à 15 000 déclarations de travaux concernant les V. R. D.³

Dans un registre voisin, mais au niveau de chaque concessionnaire, on assiste à un recours de plus en plus fréquent aux bases de données informatiques pour la gestion du patrimoine ; les applications les plus avancées dans ce domaine sont celles qui concernent les chaussées. D'abord créées pour les voies de rase-campagne, ces bases de données ont été adaptées au milieu urbain : citons ORAGE (Outil Relationnel d'Aide à la Gestion de l'Entretien), appliquée notamment à la ville de Montreuil, élaborée par le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien⁴ (L.R.O.P.) et améliorée par l'Observatoire des chaussées

¹. *Ibid.*, p. 85.

². A. CHAUSSE, B. FAIVRE D'ARCIER, *Evaluation de la gêne et système de coordination des travaux de voirie*, rapport de recherche pour le CETUR, Lyon : Laboratoire d'Economie des Transports, déc. 1989, p. 14.

³. *Ibid.*, p. 5. A Paris, la voirie est soumise annuellement à 15 000 chantiers, dont 4 000 durent plus d'une semaine. GOURLET, *loc. cit.*

⁴. Du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C.).

urbaines¹ ; elle comporte plusieurs versions : voirie urbaine, routes départementales, routes nationales. ORAGE prend en compte :

- le statut de la voie,
- ses caractéristiques géométriques,
- le stationnement,
- le rôle fonctionnel du segment,
- la typologie des chaussées, des trottoirs, des bordures, des parcs de stationnement,
- le trafic,
- les espaces verts,
- l'état physique des chaussées, des caniveaux, des trottoirs².

Périodiquement, des relevés de dégradation sont opérés sur chaque segment de voirie (portion de voie située entre deux carrefours). Ils sont pondérés suivant la fonction de la voie et permettent ainsi de classer les segments selon les besoins d'intervention.

Par ailleurs, il existe des outils plus sophistiqués, mais conçus dans un but différent, tel que SEVADER (Système Expert en Voirie pour l'Aide au Diagnostic et le conseil en Réparations) développé lui aussi par le L.R.O.P. Il s'agit, pour un segment nécessitant réparation, de définir précisément les modalités d'intervention (technique d'entretien, matériaux ...) ³. Les systèmes experts ont connu un très fort développement depuis une dizaine d'années. Il serait certainement très intéressant d'en faire aujourd'hui l'évaluation, en menant une enquête auprès des villes qui s'en sont dotées.

De leur côté, plusieurs concessionnaires de réseaux enterrés informatisent l'inventaire de leur patrimoine selon des modalités similaires. On pourrait s'étonner qu'aucune tentative de regroupement ne soit effectuée. Mais la banque de données relative aux chaussées peut servir de «noyau dur» à d'autres fichiers de gestion : c'est le cas en

¹. Projet en cours, qui associe la ville de Montreuil-sous-Bois, le L.R.O.P. et le laboratoire Théorie des Mutations Urbaines.

². J. P. CHRISTORY, "Enjeux de la voirie urbaine en France : conception et entretien. Quelques aspects des outils disponibles et des besoins", in : *La rue n'est pas une route*, colloque européen du L.T.M.U., Paris, oct. 1987, p. 8.

³. GOURLET, C. ROUSSEL, CHRISTORY, "«SEVADER», Système Expert en Voirie pour l'Aide au Diagnostic et le conseil en Réparations", in : *Route et informatique*, colloque international de l'E.N.P.C., Paris, mars 1990, 21 p.

Seine-Saint-Denis où elle sert de base à un fichier concernant les arbres¹, et à un fichier d'éclairage public².

La prise en compte des réseaux enterrés serait particulièrement intéressante eu égard aux problèmes de coordination évoqués ci-dessus. François Bounhoure, dans le travail qu'il a consacré à la question, suggère de ne collecter d'informations les concernant que sur les segments de voirie dont la chaussée est la plus dégradée³ ; le problème demeure celui de la segmentation qui ne s'adapte pas à certains réseaux (électriques notamment)⁴. De plus, cette proposition ne vise qu'à optimiser la gestion de la chaussée : il est difficile d'obtenir des concessionnaires qu'ils s'y impliquent, dans la mesure où ils ont peu à y gagner.

Toutes ces expériences vont dans le sens d'une meilleure connaissance du réseau. On peut néanmoins craindre que cette mise en notation ne conduise à une *despatialisation* totale des réseaux techniques urbains au détriment de la réalité physique que l'on cherche à analyser et ce bien qu'elle constitue une aide précieuse à la gestion et qu'elle repose sur un suivi de terrain indispensable. En outre, ces outils ne peuvent avoir d'intérêt que s'ils sont régulièrement mis à jour, ce qui ne semble pas être le cas.

¹. Notons que la seule gestion des arbres d'alignement peut s'avérer complexe : les arbres des chemins départementaux appartiennent au département, sauf s'ils sont concédés à la ville. Il existe des cas — exceptionnels — d'arbres non attribués. *Alignement des routes départementales : quels arbres pour quel paysage ?* Rapport de synthèse de l'inventaire, I.D.F./Conseil Général de Seine-Saint-Denis, déc. 1989, pp. 22-23.

². Luciole, *progiciel de gestion de l'éclairage public. Présentation générale*. Montrouge : SEMA-METRA, janv. 1988. L'Association Française de l'Eclairage (A.F.E.) cherche aussi à promouvoir des réflexions en ce sens avec les éclairagistes notamment Philips Eclairage et Mazda.

³. F. BOUNHOURE, *Prise en compte de l'état des réseaux souterrains dans un outil d'aide à la gestion des voiries urbaines*, travail de fin d'études de l'E.S.T.P. au L.R.O.P., avr. 1987, pp. 71-72.

⁴. *Ibid.* p. 48.

I.1.3. MILIEU

Le grand oublié des développements récents de la gestion des réseaux est bel et bien le milieu d'accueil *i. e.* le sol urbain. En effet, toutes les méthodes que nous venons d'évoquer reposent sur le principe que les interventions sur voirie sont inéluctables, ce qui est d'autant plus surprenant que, en centre urbain dense, elles concernent la plupart du temps des travaux de réfection et de réhabilitation¹. Il est vrai que les réseaux ont vieilli, mais cela ne justifie pas toutes les interventions : s'ils connaissent des désordres, c'est aussi en raison du contexte géotechnique, particulièrement délicat dans le sous-sol peu profond des villes.

Or, les manuels de conception n'en font généralement pas cas : le dimensionnement est conditionné par le fluide transporté, le choix des matériaux par les recettes mises au point lors de la création des différents réseaux. "Les facteurs d'ordre géologiques ou hydrogéologique sont le plus souvent ignorés"² dans l'analyse des ouvrages d'assainissement, souligne Marcel Toulemont, alors que "l'approche diagnostique «par le tuyau» [...] doit [...] être nécessairement complétée par une approche «par le terrain»."³ En effet, les réseaux d'assainissement sont les seuls qui, aujourd'hui, aient fait l'objet d'une recherche dans ce sens : l'enjeu est de taille puisqu'à Paris, les pertes des réseaux d'eau et d'assainissement sont évaluées à 30 % au moins. Une enquête menée par le Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton en 1988 (tableau 2) a montré que, bien que l'état des réseaux d'assainissement soit très inégal d'une ville et d'un quartier à l'autre, "même si cette proportion est inférieure à 10 % pour l'ensemble de la

¹. En ce qui concerne les travaux neufs, il faut noter, dans l'objectif d'une réduction de la gêne occasionnée par les chantiers sur la voie publique, le développement des techniques de pose sans ouverture de tranchée. La comparaison des coûts de deux collecteurs (diamètre 1,80 à 2,00 m ; profondeur 7 à 8 m) réalisés à Gand montre que la fouille ouverte revient à 125 000 à 150 000 francs belges par mètre linéaire (non compris les coûts sociaux — environnement, circulation, nuisances pour les riverains) alors que le fonçage (bouclier de forage à pression de bentonite), adjugé à l'entrepreneur pour 73 000 à 78 000 francs belges par mètre linéaire, est revenu à 100 000 francs en raison des problèmes géotechniques rencontrés lors de l'exécution. P. BRACKENIER, "Coûts et bénéfices des travaux souterrains urbains", *T.O.S.* (104), mars-avr. 1991, pp. 67-68. Ce numéro de *T.O.S.* comprend (pp. 65-106) les résumés de la journée d'études de l'A.B.T.U.S. du 20 nov. 1990 : "Les techniques les plus récentes pour la pose de conduites et canalisations sans tranchées ouvertes".

². M. TOULEMONT, "Evaluation et cartographie des risques géotechniques de dégradation des ouvrages d'assainissement, une aide à la gestion des réseaux", *Bulletin de l'association internationale de géologie de l'ingénieur* (36), 1987, p. 90.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

France, ce sont des milliers de kilomètres qui mériteraient d'être réhabilités."¹ Dans certaines sections urbaines, les eaux d'égout disparaissent subitement ; dans d'autres le réseau d'eau pluviale continue à débiter même après les sécheresses estivales.

Tableau 2. Résultats d'une enquête du CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton) portant sur 400 km de réseaux d'assainissement non-visibles en béton.

Désordres pouvant provoquer des venues d'eaux parasites	Nombre d'anomalies par km inspecté
Canalisations cassées, déboîtées ou cavités dont 2 avec arrivée d'eau constatée	19
Canalisations décalées verticalement avec ou sans joint apparent, dont 3 avec arrivée d'eau constatée	45
Fissures longitudinales transversales dont 1 avec arrivée d'eau constatée	19
Pénétration de racines	4
Désordres gênant l'exploitation	
Branchements pénétrants	6
Regards non visibles	1
Boîtes de branchements borgnes	7
Flèches ou contre-pentes	9
Accumulation de matériel en radier	8
La plupart des désordres sont la conséquence d'une mise en œuvre réalisée dans de mauvaises conditions.	

Source : M. BISEAU, Y. RUPERD, "Assainissement : réhabiliter les réseaux, une alternative économique", *M.T.P.B.*, 3 fév. 1989, p. 63.

La figure 1 présente les principaux paramètres géotechniques qui peuvent affecter les canalisations, tels qu'approchés aujourd'hui. Le tableau 3 les décline suivant les différentes formations sédimentaires du bassin de Paris. Ces travaux ont par ailleurs eu des débouchés opérationnels avec la création par le Laboratoire Régional de l'Est Parisien² (L.R.E.P.) du système-expert APOGEE 94 (Analyse et Programmation Optimisée pour la Gestion, l'Entretien et l'Exploitation du Réseau d'Assainissement du Val-de-Marne) dans lequel l'évaluation des risques se fait grâce à l'étude de la pathologie des ouvrages et à la prise en compte de divers paramètres : "le Service en a sélectionné et

¹. M. BISEAU, Y. RUPERD, "Assainissement : réhabiliter les réseaux, une alternative économique", *M.T.P.B.*, 3 févr. 1989, p. 63.

². Du L.C.P.C.

étudié plusieurs : l'environnement géologique et hydrogéologique, les surcharges statique et dynamique, le mode et la nature de la construction, l'historique, la corrosion, l'abrasion, la mise en charge, la proximité des concessionnaires, la présence de travaux..."¹

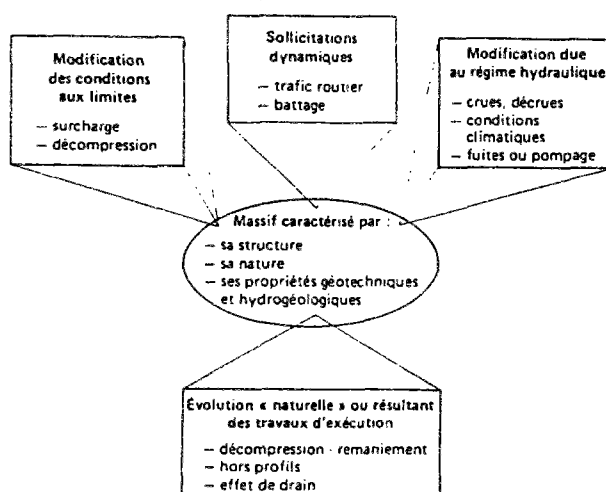


Figure 1. Principaux paramètres d'influence de la stabilité d'un massif géologique en milieu urbain.

Tableau 3. Comportement géotechnique des formations sédimentaires du Bassin de Paris.

Mécanisme d'évolution	Nature des matériaux sensibles	Paramètres d'influence		Critères d'appréciation du niveau de risque
		Paramètres de site	Facteurs déclenchants	
Glissement	● argiles, marnes, éboulis à dominante argilo-marneuse	● pente topographique ● structure géologique	● surcharge, décharge ● modifications hydrauliques	● valeur de la pente ● gradient hydraulique
Dissolution	● gypse, anhydrite	● absence de protection imperméable ● circulation d'eau	● modifications hydrauliques (généralement artificielles)	● valeur du potentiel de karstification (agressivité de l'eau et débit)
Gonflement-retrait	● argiles et marnes raides ● argiles gonflantes	● absence de protection contre les infiltrations ou la déshydratation	● modifications des teneurs en eau par hydratation ou déshydratation	● profondeur sous terrain naturel ● mode d'exécution de l'ouvrage (ciel ouvert)
Érosion interne	● sables fins ou à granularité étalée ● lits, limons sableux ● lits de pose et remblais en sable	● pente de l'ouvrage ● proximité de berges fluviales	● écoulement sous fort gradient ● influence des décrues rapides	● situation par rapport au balancement de la nappe ● gradient hydraulique ● pente de l'ouvrage ● distance par rapport aux berges fluviales
Tassement	● argiles, argiles marneuses compressibles ● tourbes et vases ● remblais non compactés	● zones alluviales ● carrières remblayées	● application d'une surcharge pondérale ● rabattement ● sollicitations dynamiques	● compressibilité du matériau ● contrastes de compressibilité
Effondrement / affaissement	● recouvrement de carrières souterraines de toute nature	● carrières souterraines non remblayées ou remblayées partiellement ● valeur du rapport H/h (hauteur de recouvrement sur hauteur de vide)	● surcharges ● modifications hydrauliques ● vibrations	● charge hydraulique ● rapport H/h

Source : M. TOULEMONT, "Evolution et cartographie des risques géotechniques de dégradation des ouvrages d'assainissement, une aide à la gestion des réseaux",
Bulletin de l'association internationale de géologie de l'ingénieur (36), 1987, p. 91, 93.

¹. Apogée 94, une méthode pour optimiser la gestion d'un réseau d'assainissement, Créteil : Département

.../...

Apogée 94 repose sur le principe qu'"un ouvrage d'assainissement peut être assimilé à une structure composite constituée de la canalisation proprement dite et de son enveloppe géologique"¹ et que "la pérennité des ouvrages souterrains est indissociable de leur environnement géologique et hydrogéologique, qu'il s'agisse de la zone d'interface elle-même, de la couronne proche ou du massif encaissant dans son ensemble"². Il s'agit ainsi de définir pour chaque tronçon de canalisation la nature et l'importance des aléas, démarche qualifiée par son auteur de prévisionnelle³, et que nous appellerons explicative.

En outre, la mise en valeur de ces aléas géotechniques a conduit les organismes de tutelle à diffuser des guides techniques afin d'inciter les collectivités locales et ou les concessionnaires à les intégrer dans leur démarche⁴.

D'autres méthodes existent, à l'instar de celle qui s'intéresse au fonctionnement hydraulique des ouvrages pour détecter les apports parasites aléatoires (erreurs de branchement, collectes de fossés, surverses de plans d'eau), pseudo-permanents (infiltration dans les nappes à niveau variable, ressuyage des terrains perméables⁵, drainage) ou permanents (infiltration dans les nappes à niveau stable, ressuyage des terrains peu perméables)⁶ en allant d'une analyse générale (mesures à l'exutoire) au diagnostic précis (localisation ponctuelle des sources d'apport)⁷.

A l'opposé de la précédente, cette méthode ne se veut pas prévisionnelle. Néanmoins, lors de son application à la Ferté-Alais, une analyse géologique et hydrogéologique a mis en évidence certaines contraintes liées à l'environnement⁸ ; en effet, dans la suite de l'étude on a pu découvrir qu'une partie des eaux parasites provenait

du Val-de-Marne - Direction de l'Équipement, avr. 1988, p. 8.

1. TOULEMONT, *op. cit.*, p. 98.

2. *Ibid.*, p. 90.

3. *Ibid.*, p. 98.

4. *Assainissement et géotechnique : prise en compte des conditions géotechniques dans les projets de canalisations d'assainissement*, étude inter-agences, Ministère de l'environnement/Agence de l'eau Loire-Bretagne/L.C.P.C., 1988.

5. Écoulement de l'eau en excès dans le sol après un épisode pluvieux.

6. J. RANCHET, D. RENARD, A. VICQ, "Analyse et détection des eaux parasitaires dans les réseaux d'assainissement", *T.S.M.* 77(4), 1982, p. 174.

7. *Ibid.*, p. 175.

8. RENARD, "Diagnostic des réseaux d'assainissement de la Ferté-Alais : recherches et propositions de suppression des apports parasites", *B.L.L.P.C.* (133), 1984, pp. 51-52.

d'infiltrations de nappe suite à une dégradation de la canalisation résultant de tassements du sol d'assise¹.

Cependant, il nous semble que ces travaux ne prennent pas en compte une des contraintes majeures du sol urbain — outre la question des charges dynamiques, phénomène lui aussi mal maîtrisé² —, sa nature anthropique. En effet, et au moins en centre urbain, il est difficile de caractériser la couche superficielle — hétérogène et soumise plus qu'ailleurs aux fluctuations des nappes d'eau — comme on le fait pour une couche sédimentaire naturelle. Or, les désordres sont souvent dus à celle-ci, comme on a pu le voir lors d'affaissements de voirie, répétés tout au long de notre siècle, à Paris, en bordure de Seine, zone particulièrement remblayée. Les creux de la chaussée, d'une flèche de dix centimètres sur une surface pouvant aller jusqu'à trente mètres carrés³, que rien ne pouvait expliquer en surface, étaient dus à l'imbrication de couches naturelles peu stables et de remblais anthropiques affectés parfois de vides d'où une compressibilité différentielle (figure 2).

¹. *Ibid.*, p. 55.

². *Assainissement et géotechnique (...)*, *op. cit.*, p. 15.

³. D. REYNARD, *Etude des tassements de voirie récents survenus au centre de Paris en bordure de Seine*, mémoire de fin d'études de l'E.N.P.C., 1987, p. 5.

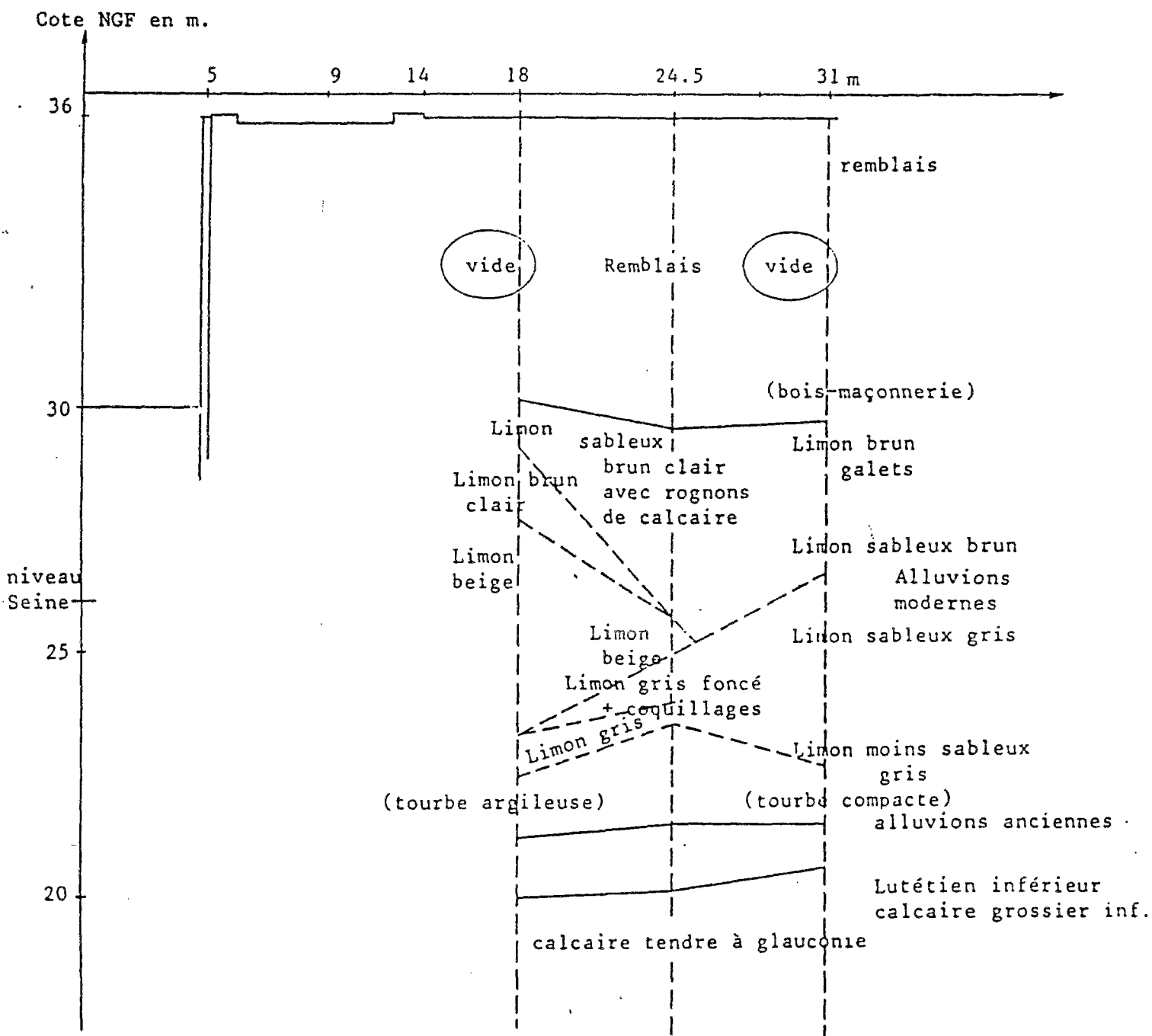


Figure 2. Coupe géologique de la rue des Deux Ponts (île Saint-Louis), à Paris.

Source : D. REYNARD, *Etude des tassements de voirie récents survenus au centre de Paris en bordure de Seine*, mémoire de fin d'études de l'EN.P.C., 1987, p. 12.

I.2. DES FONDATIONS VACILLANTES

Les problèmes rencontrés par le bâti existant dans les villes ne diffèrent pas de ceux qui affectent les réseaux, mais ont peut-être été mieux étudiés. En effet, les organismes de prospection pétrolière et minière, notamment en France le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.), ont dû se reconvertir après 1962. Leurs experts ont été dans un premier temps sollicités par les compagnies d'assurance lors des contentieux qu'elles avaient avec les entrepreneurs maîtres d'ouvrage d'immeubles de grande hauteur. Ces experts mettent en valeur plusieurs facteurs, dont la combinaison affecte les fondations :

- contexte géologique naturel,
- contexte hydrogéologique naturel et modifié,
- présence et hétérogénéité des remblais dans le cas des fondations peu profondes.

I.2.1. HYDROGÉOLOGIE

L'industrialisation a profondément affecté le régime des eaux souterraines en raison de l'exploitation de cette abondante ressource. Ainsi, à la subsidence naturelle — affaissement lent des couches sédimentaires —, s'est ajoutée une subsidence anthropique due à la baisse du niveau des nappes, constatée dans de nombreuses villes du monde entier. Cette universalité du phénomène a favorisé la recherche¹, d'autant plus que les villes côtières subissent parallèlement l'eustatisme, montée du niveau de la mer sous l'influence du réchauffement du globe².

Cependant, ces analyses macroscopiques ne suffisent pas à saisir la portée de ces variations de régime en milieu urbain. Au tassement absolu qui en résulte inévitablement — deux à huit millimètres par an pour certaines parties de la ville de Stockholm (île de Stadsholmen)³ —, il faut ajouter la détérioration des fondations sur pieux de bois. A

¹. F. B. J. BRENDIS, S. E. J. SPIERENBURG, "Peculiar aspects in man induced landsubsidence", in : *XIle C.I.M.S.T.F.*, actes du congrès de Rio de Janeiro, 13-18 août 1989, Rotterdam : Balkema, 1989, vol. 3, pp. 1785-1790.

². Actuellement, l'augmentation du niveau des mers est d'un à deux millimètres par an. A Venise, la conjugaison de l'eustatisme et de la subsidence entraînait une montée relative du niveau de la mer de 6 mm par an dans les années 1960, de 3,5 mm par an dans les années 1970. A. PAOLETTI, G. ROSSI CAIRO, "Un progetto per il controllo delle acque alte nella laguna di Venezia", *L'energia elettrica* (10), 1979, pp. 517-532.

³. H. BOHM, U. STJERNGREN, "Foundation reinforcement in the old town of Stockholm", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, actes du congrès de Stockholm, 1981, Rotterdam : Balkema, 1981, vol. 3, p. 46.

Helsinki par exemple, on compte plus de cent immeubles de plusieurs étages fondés de cette manière, pour la plupart avant 1910. L'eau souterraine se trouvant à un niveau de plus en plus bas entraîne la décomposition des fondations autrefois plongées dans l'eau. Il a donc été réalisé dans cette ville une cartographie des fondations (figure 4), afin de planifier les nouveaux travaux souterrains et d'évaluer les risques¹. A Strasbourg, Rouen et Stockholm on rencontre des problèmes similaires², accrus dans la vieille ville car ils sont "en grande partie dus au pourrissement des fondations en bois et au grave tassement des remblais organiques"³. Lors de la fondation de la ville de Stockholm en 1250, l'île de Stadsholmen n'avait que la moitié de sa superficie actuelle⁴ ; les habitants ont gagné du terrain sur l'eau en disposant des remblais à l'extérieur des rives médiévales⁵ (figure 3).

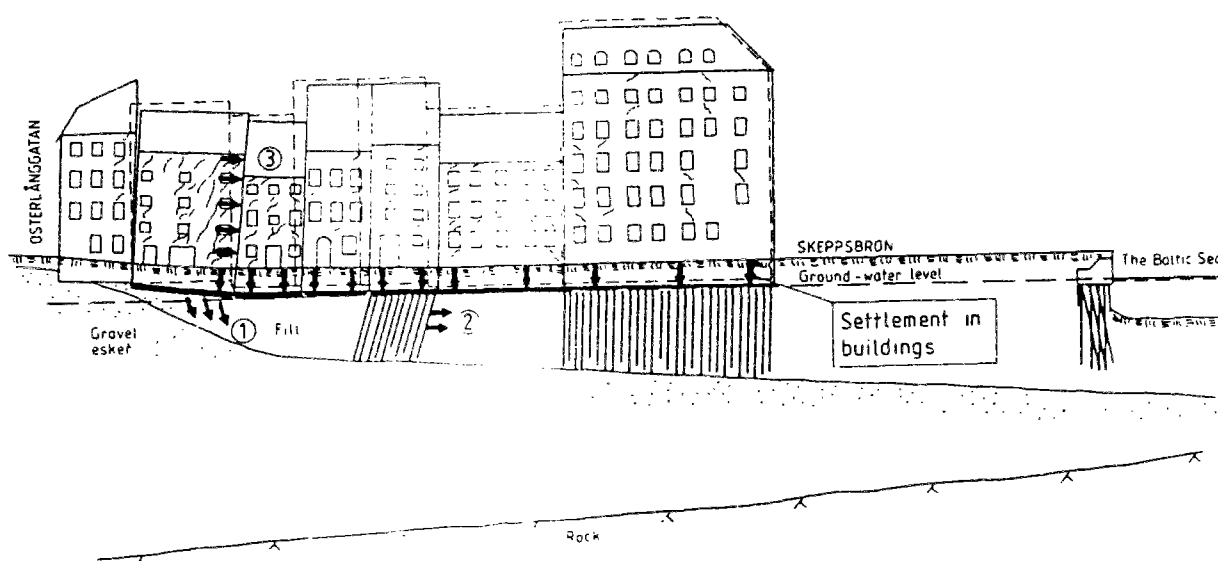


Figure 3. Désordres dans les constructions fondées sur la zone des remblais de l'île de Stadsholmen (Stockholm).

Source : H. BOHM, U., STJERNGREN, "Foundation reinforcement in the old town of Stockholm", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, actes du congrès de Stockholm, 1981, Rotterdam : Balkema, 1981, vol. 3, p. 48.

1. U. V. ANTTIKOSKI, P. J. RAUDASMAA, "The map of building foundations", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, *op. cit.*, vol. 3, pp. 25-26.

2. BOHM, B. PRAMBORG, "Foundation documentation for conservation planning", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, *op. cit.*, vol. 3, pp. 33-42. A Paris, le Grand et le Petit Palais sont fondés de cette façon.

3. BOHM, STJERNGREN, *op. cit.*, p. 43.

4. *Ibid.*, *loc. cit.*

5. *Ibid.*, p. 44.



LAYING FOUNDATIONS

The foundation of the building is laid.

- by foundation walls or columns on rock
- by footings on soil layers
- by slab on soil layers
- by timber grillage on soil layers
- by timber piles
- by concrete piles
- by pressure piles made of concrete
- by large piles on rock
- by large piles on soil layers
- by rail piles
- by other piles

MONITORING OF THE UPPER GROUND-WATER, LOWER GROUND-WATER AND SETTLEMENT

- observation tube of the upper ground-water table and the lower ground-water table
- observation tube of the upper ground-water table
- observation tube of the lower ground-water table
- settlement gauge
- injection well or pipe of the upper ground-water
- injection well or pipe of the lower ground-water
- pumpage well of the upper ground-water, pumpage level -0.80
- pumpage well of the lower ground-water, pumpage level -0.60

OTHER SYMBOLS

- dam wall
- P - 0.80 level of the surface of timber foundation
- K - 0.80 level of the lower floor -0.80
- KM - 0.80 the level of the lower floor -0.80 the floor based on ground
- KK - 0.80 level of the lower floor -0.80 the floor is bearing
- V - 1.00 pressure water insulation, upper edge of the insulation is on the level -1.00

Figure 4. Extrait de la carte des fondations du centre ville d'Helsinki.

Source : U. V. ANTTIKOSKI, P. J., RAUDASMAA, "The map of building foundations", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, actes du congrès de Stockholm, 1981, Rotterdam : Balkema, 1981, vol. 3, p. 28.

En outre, l'activité urbaine étant intimement liée à la mondialisation des échanges économiques, on constate dans nombre de pays dits riches une remontée des nappes. Ces fluctuations ont particulièrement bien été étudiées dans le cas de Paris, grâce à la *Carte hydrologique de la ville de Paris* dressée par Achille Delesse en 1858¹. A cette date, le niveau de la nappe était supérieur à celui de la Seine qui jouait ainsi un rôle de drain ; l'imperméabilisation de la surface, le drainage des eaux pluviales dans les égouts, les pompages ont entraîné un renversement de la situation, la Seine se trouvant à un niveau supérieur à celui de l'aquifère. La conséquence indirecte de cette baisse a été que, dans les années soixante, on a construit beaucoup d'immeubles avec des niveaux enterrés non-étanches, les maîtres d'ouvrage considérant la baisse comme irréversible². Mais depuis plusieurs années, la situation a changé, probablement en raison de la régression de l'activité industrielle en rive droite de la Seine, et d'une diminution conséquente des pompages : en rive droite la nappe a pu remonter de dix mètres depuis 1972³ (tableau 4). La situation est telle que, dès 1979, Philippe Diffre proposait que les autorités fixassent un niveau maximum et un niveau minimum pour la nappe qui permettraient de concilier exploitation de l'aquifère et pérennité des constructions souterraines⁴. En effet, outre les venues d'eau, les ouvrages n'ont pas été calculés pour résister à la poussée d'Archimède, verticale. Supposons par exemple un immeuble comprenant deux niveaux en sous-sol, d'une emprise de 900 m², noyés mais non inondés sur une hauteur 5 m, soit un volume de 4 500 m³ ; la poussée d'Archimède atteint 45 10⁶ N, soit 4 500 tonnes, ce qui représente le poids d'un immeuble de quatre à six étages (sous-sol compris)⁵. La pollution des eaux peut de plus favoriser la corrosion des bétons et affecter la santé⁶.

Il nous semble qu'un facteur a peut-être été négligé dans le bilan hydrique de la capitale, les fuites des réseaux d'eau et d'assainissement. En effet, le tableau 5 — qui ne donne que des ordres de grandeur — montre qu'elles doivent être de plusieurs dizaines de millions de mètres cubes par an, ce qui est bien plus important que la variation du volume des pompages souterrains qui, elle, n'est que de quelques millions de mètres

¹. A. DELESSE, *Carte hydrologique de la ville de Paris*, Paris, 1858, 1/6 666.

². P. DIFFRE, "Désordres dus à la remontée du niveau des nappes peu profondes sous Paris", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, Orléans : B.R.G.M., 1979, vol. 1, p. 595.

³. C. BERGERON, H. DESHAYS, T. POINTET, *Remontée des nappes d'eau souterraine : causes et effets*, Orléans : B.R.G.M., 1983, p. 14.

⁴. DIFFRE, *op. cit.*, p. 597.

⁵. BERGERON, DESHAYS, POINTET, *op. cit.*, p. 18.

⁶. En outre, on a montré que certains polluants peuvent avoir une influence sur le module œdométrique, donc le tassement, des sols. B. KIROV, "Influence of waste waters on soil deformations", in : *XIII C.I.M.S.T.F.*, *op. cit.*, vol. 3, pp. 1881-1882.

cubes (tableau 4). Mais si l'hydraulique a toujours été le domaine de prédilection des ingénieurs, leur vision du comportement des nappes n'est pas urbaine.

Tableau 4. Evolution des pompages d'eau souterraine à Paris de 1968 à 1981.
(millions de m³ par an)

	1968	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1981
Rive droite	7,8	6,1	7,2	7,0	6,6	5,9	4,8	4,8	4,2	2,8
Rive gauche	4,3	6,5	7,2	7,6	6,8	4,2	3,9	4,0	3,9	2,2
Total	12,1	12,6	14,4	14,6	13,4	10,1	8,7	8,8	8,1	5*

* Auxquels il faut ajouter 2 à 5 10⁶ m³ d'épuisements effectués par la R.A.T.P.

D'après : P. DIFFRE, "Désordres dus à la remontée du niveau des nappes peu profondes sous Paris", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, Orléans : B.R.G.M., 1979, vol. 1, p. 596 ; C. BERGERON, H. DESHAYS, T. POINTET, *Remontée des nappes d'eau souterraine : causes et effets*, Orléans : B.R.G.M., 1983, p. 14 ; A. M. PRUNIER-LEPARMENTIER, *Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris*, thèse, E.N.S.M.P., 1988, p. 75.

Tableau 5. Apports d'eau à la nappe souterraine dans Paris intra-muros.
(millions de m³ par an)*

Seine	19,0	apport par les quais non étanches et le fond de la Seine**
pluie	0,6	pluviométrie moyenne : 600 mm/a, Paris est imperméabilisé à 92 %, et a une surface de 8 700 ha, pluie efficace : 15 % de la pluie totale**
eau potable (fuites)***	3,4	rendement du réseau : 80 %, consommation : 300 l/hab/j, Paris : 2 millions d'habitants
eaux pluviales et usées (fuites)	32,8	évapotranspiration : 10 % ; taux de pertes : 25 %, dans les deux cas on suppose que la moitié des pertes a lieu dans Paris
Total	≈ 56	calcul très grossier qui ne distingue pas les aquifères et ne prend pas en compte les apports latéraux

* Nous avons établi ce tableau sur la base d'approximations, il ne fournit que des valeurs indicatives, notamment en ce qui concerne les fuites dont nous voulons mettre l'importance en valeur.

** D'après : A. M. PRUNIER-LEPARMENTIER, *Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris*, thèse, E.N.S.M.P., 1988, p. 60.

*** La majeure partie des conduites d'eau potable est installée dans le réseau d'égout : la part des pertes totales (27,4 10⁶ m³/a) qui rejoint le sous-sol est donc tributaire des fuites du réseau d'égout.

D'autre part, certains secteurs de Paris sont plus exposés que d'autres, en raison de l'existence d'un ancien bras de Seine rive droite ; par exemple :

"les désordres causés par l'écoulement des eaux dans cet ancien bras de la Seine [au nord du tracé actuel] ne sont pas limités à la rue Pierre Charron. On en constate sur plusieurs kilomètres : immeubles fissurés [...], dénivelés par le tassement différentiel des façades, égouts fissurés, caves soudainement envahies à la suite du relèvement subit de l'ancienne nappe d'eau, corniches de façade présentant des ondulations marquées etc... Ces désordres sont fréquents, de la rue Pierre Charron à la place de la République, en passant par les rues de la Boétie, Saint-Lazare, de la Victoire etc..."¹

La présence de niveaux souterrains peut faire obstacle à l'écoulement horizontal des eaux, comme celle de tunnels dans le sens vertical, ce qui ne fait que compliquer l'hydrogéologie urbaine. A Paris on a finalement mis en place un réseau de piézomètres afin de déterminer les directions de l'écoulement souterrain².

Il faut y ajouter des facteurs climatiques ponctuels, comme les récentes sécheresses de 1989 et 1990. Pour la période qui court de novembre 1988 à octobre 1989, la pluviométrie n'a été que de 55 à 86 % de la pluviométrie normale suivant les régions, et, bien pire, la pluie efficace — celle qui rejoint effectivement la nappe — a pu être nulle dans certaines régions (Provence, Corse, etc.)³. La sécheresse affecte principalement les constructions sur terrains argileux, avec fondations peu profondes. En région parisienne, les villes nouvelles de Marne-la-Vallée et Saint-Quentin-en-Yvelines ont été particulièrement touchées ; 95 % des sinistres concernent des maisons individuelles et 80 % des bâtiments situés à proximité de saules, peupliers, ou végétation dense⁴. En effet, le retrait de l'argile, déjà favorisé par la sécheresse, est amplifié par la présence d'arbres qui peuvent consommer jusqu'à trois cents litres d'eau par jour en été. Les épisodes pluvieux au contraire entraînent un gonflement des terres argileuses qui est certainement responsable des fissures qui affectent l'Institut Français d'Urbanisme (Marne-la-Vallée), ce témoin de l'architecture contemporaine. Ces fluctuations annuelles doivent être ajoutées aux fluctuations de plus longue durée.

¹. J. ROBINE, "Un étage géologique méconnu, le poubélien urbain et ses fossiles", *Travaux souterrains* 9(157), 1969, p. 269.

². P. L. COLIN, *Evolution des nappes peu profondes à Paris depuis un siècle*, projet de fin d'études, E.N.S.M.P., 1986.

³. P. BLONDEAU, "La sécheresse de 1989 et 1990 : le point de vue du contrôleur technique", *R.F.G.* (58), janv. 1992, pp. 17-18.

⁴. P. VANDANGEON, "La sécheresse de 1989 et 1990 : exemples de sinistres en région parisienne", *R.F.G.* (58), janv. 1992, p. 9. Ce numéro de la *R.F.G.* comprend un dossier sur le thème (pp. 5-30).

I.2.2. VIDES

Aux fluctuations des nappes, il faut ajouter les cavités souterraines, notamment les carrières. Dans les actes du colloque de 1979, *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*¹, on ne compte pas moins de neuf communications sur ce thème. En effet, les vides constituent un aspect important du sous-sol de la ville, si bien qu'à Paris on a été contraint de créer un service spécifique consacré à la surveillance, au comblement et à la cartographie des anciennes carrières : l'Inspection Générale des Carrières (I.G.C.), mise en place en 1777 suite à plusieurs effondrements spectaculaires voire meurtriers dans la capitale². Elle existe encore de nos jours, et si les carrières font l'objet d'une telle attention, c'est, d'une part, qu'elles ne sont ni toutes connues, ni toutes remblayées (figure 5) — en effet, ce sont les cavités situées sous la voie publique que l'on a d'abord consolidées, l'article 552 du Code Civil accordant la propriété du sous-sol au possesseur du sol, sauf dans le cadre de la législation des mines —, et, en second lieu, que "si les remblais ressemblent aux formations en place, ils sont loin d'avoir les mêmes propriétés géotechniques et des cavités remplies avec un mélange hétérogène peuvent être aussi dangereuses que des cavités vides"³.

Les carrières ont une place de choix dans l'histoire urbaine : elles ont permis la construction des immeubles et ouvrages d'art de la capitale, puisque "Pendant près de deux millénaires, des Romains à 1813, presque toutes les pierres de Paris furent extraites de son sous-sol"⁴ ; elles participent à la création du paysage urbain, l'exemple le plus révélateur à Paris étant le parc des Buttes-Chaumont ; elles peuvent être cause d'accidents. Dans la capitale, on compte sept cent soixante-dix hectares sous-minés dans le calcaire grossier et soixante-cinq dans le gypse ludien⁵ (figure 6).

¹. *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, actes du colloque national de Lyon, mars 1979, Orléans : B.R.G.M., 1979, 2 vol.

². *L'Inspection Générale des Carrières*, Paris : Mairie de Paris, 1977, p. 3.

³. J. M. USSEGLIO-POLATERA, *Contribution à la cartographie géotechnique de la ville de Paris. Etude de la Butte de Belleville (XIXe et XXe arrondissements)*, thèse, Université de Paris VI et E.N.S.M.P., 1980, p. 21.

⁴. DIFFRE, C. POMEROL, *Paris et environs, les roches, l'eau et les hommes*, Paris : Masson, 1979, p. 58.

⁵. G. MONOT, "L'I.G.C. et le confortement du sous-sol", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, op. cit., vol. 2, pp. 826-827.

Figure 5.
Formation d'un fontis dans une carrière non-remblayée.

Source : G. MONOT, "L'Inspection Générale des Carrières et les confortements du sous-sol", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, Orléans : Bureau des Recherches Géologiques et Minières, 1979, vol. 2, p. 828.

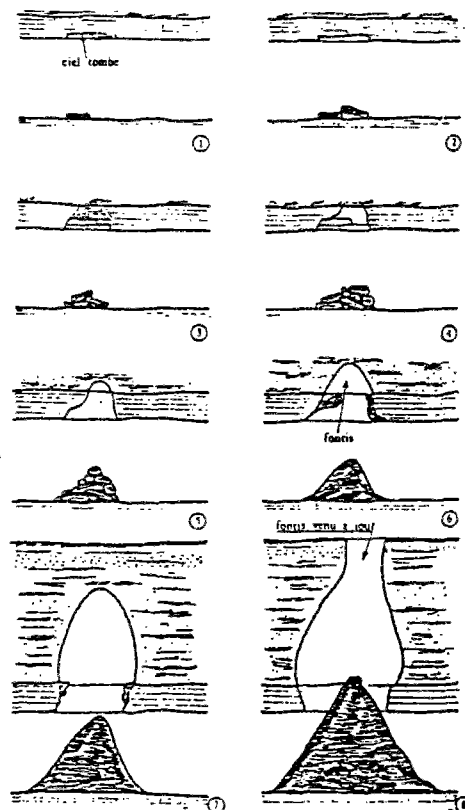


Figure 6. Emplacement des anciennes carrières de Paris.
Source : P. DIFFRE, C. POMEROL, *Paris et environs, les roches, l'eau et les hommes*, Paris : Masson, 1979, p. 59.

Il existe aussi des cavités naturelles, en particulier dans les masses de gypse ludien à Paris, ou dans les intercalations du gypse dans le calcaire de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamp et les Marnes et Caillasses (gypse anteludien). Le gypse est au moins quatre fois plus soluble que le calcaire, et sa dissolution peut se dérouler à l'échelle de la vie d'un ouvrage¹ (tableau 6). Il n'est d'ailleurs pas rare que les dissolutions de gypse aient des conséquences néfastes sur les canalisations souterraines².

Tableau 6. Caractéristiques géométriques des principaux effondrements de terrain dus aux gypse lutétiens, survenus à Paris et en proche banlieue depuis le début du siècle, à l'exclusion des affaissements de type subsidence et des désordres aux constructions.

Situation	Date d'apparition	Diamètre en surface (m)	Diamètre à la base (m)	Profondeur apparente (m)	Volume approximatif (m ³)	Épaisseur de la couverture (m)	Épaisseur de la dalle bartonienne (m)	Épaisseur du gypse lutétien (m)
Aubervilliers, Rue D. Casanova	17-11-1960		15	15	1 500	38	11	16
Aulnay-sous-bois, ferme de Fontenay	12-06-1903	13	12-15	17	1 500	?	10	
Sevrans, Rue des Ramiers	23-11-1964	10	?	18	1 500	36-70	11,5	7-8
Sevrans, Rue des Coquelicots	13-02-1970	8	?	18	1 300	38-60	11,5	7-8
Paris, Porte de la Chapelle A B C	08-10-1954	5-6	10-12	15	1 100	35	10	9-11
	30-03-1955	2	8	8,5	400			
	03-11-1975	4-5	3	3	40	35		
Paris, Gare de Paris-Nord (PRS)	1975				2 500	39-43	18	11
Bry-sur-Marne		2		3,60	10-15	18-20	0	
Saint-Thibault-des-Vignes		3		5	35	22-24	0	2-4
Gare de Paris-Est Bâtiment voyageurs — pilier 35 — pilier 73	1935	7		7		30	12	5-7
	1962	5		7	300	30	12	5-7
Porte Pouchet		3		13	> 400			

Source : M. TOULEMONT, "Les risques d'instabilité liés au karst gypseux lutétien de la région parisienne, prévision et cartographie", *B.L.L.P.C.* (150-151), 1987, p. 111.

1. J. du MOUZA, *Les cavités souterraines de la région parisienne : classification, conditions d'existence, méthodes de détection*, thèse de 3e cycle, Université de Paris VI, 1975, p. 77.

2. VILLE DE PARIS - SERVICE DES GRANDS RESEAUX D'ASSAINISSEMENT, *Enquête géotechnique sur les causes de dégradation survenues à l'émissaire Saint-Denis — Achères (...)*, Paris, s. d., p. 21.

Dans le cas particulier de Paris, il existe une littérature très abondante traitant des vides souterrains, qu'ils soient naturels ou artificiels¹ ; outre l'étude des mécanismes de dissolution, des recherches sont faites sur la cartographie géotechnique². En effet, carrières et exploitations souterraines ont toujours fait partie du champ d'investigation des ingénieurs des Mines, qui peuvent aisément transférer le savoir acquis en milieu urbain, d'autant plus que les déformations du sol dans les régions houillères, salifères ou karstiques ont fait l'objet de nombreuses recherches³ : à Gardanne (Bouches du Rhône) l'exploitation de la couche de lignite épaisse de 3 à 5 mètres, à 900 mètres de profondeur, provoque en surface un affaissement de 0,5 à 1 mètre après déplacement des vérins de soutènement. On pourrait d'ailleurs se poser la question de l'impact des voies souterraines à grande profondeur sur la surface.

¹. Cf. bibliographie.

². Notion d'aptitude ou de risque géotechnique, etc ...

³. R. HABY, "Déformations de la surface du sol sous l'influence des cavités souterraines : état des recherches", *Annales de l'Est* 37, 1970.

I.2.3. REMBLAIS

Tandis que toutes les déformations du sol qui se ramènent à un phénomène de subsidence, facteur éminemment géologique et minier, sont relativement bien cernées par les géotechniciens, il n'en va pas de même de l'effet inverse et typiquement urbain, l'exhaussement — nous retrouvons le même vide scientifique qu'en ce qui concerne les canalisations.

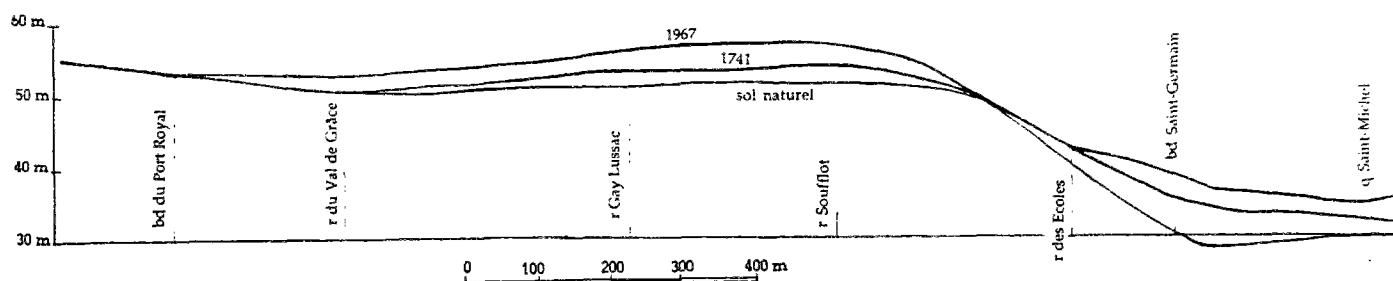


Figure 7. Profil de la rue Saint-Jacques à Paris, du sol naturel au sol actuel.

D'après : E. GERARDS, P. TISSIER, *Atlas géologique de la ville de Paris*, 2e éd., Paris : Préfecture de la Seine/I.G.C., 1967, 1/5 000 ; P. BUACHE, *Coupe de la ville de Paris prise du septentrion au Midy depuis la porte Saint-Martin jusqu'à l'observatoire en passant par l'Isle du Palais*, Paris, 1742, 1 pl., 1/3 000 (horizontal), 1/600 (vertical).

Pourtant, les remblais anthropiques couvrent toutes les villes dès qu'elles ont quelques siècles (figure 7). La carte géologique de la ville de Paris dressée par Emile Gerards¹ mentionne leur présence lorsque leur épaisseur est supérieure à trois mètres, mais c'est pour mieux pouvoir s'en affranchir par la suite. D'ailleurs, si l'Inspection Générale des Carrières suit de près les affaissements à Paris, elle ne cherche absolument pas analyser de possibles remblais ou déblais dans la mesure où ses observations sont fondées sur les repères apposés sur les bâtiments. Une analyse de l'évolution de la

¹ E. GERARDS, *Atlas géologique des vingt arrondissements de Paris*, Paris, 1920-1924, 15 feuilles, 1/5 000. Réédité en 1967 avec refonte. La superposition des deux cartes montre d'ailleurs que la topographie parisienne a évolué sur cette courte période.

topographie s'avère d'autant plus difficile qu'il a fallu attendre 1860 pour qu'une unification des origines de nivellement soit mise en place¹. Pourtant, ces remblais hétérogènes sont source de nombreux désordres. A titre d'exemple, l'île Saint-Louis à Paris a dû être entièrement consolidée (les travaux se sont poursuivis de 1988 à 1992), notamment par l'injection de près de 10 000 m³ de coulis de ciment, en raison des remblais de mauvaises qualité employés pour son exhaussement dès le XVII^e siècle².

La ville de Cracovie, où des puits et puisards antérieurs au XIX^e siècle, des parties de réseau d'égout du XIX^e siècle abandonnés et comblés ont été oubliés sous l'exhaussement urbain³, fait figure de pionnière en la matière. En effet, ces résidus de la vie urbaine sont la cause de nombreux désordres dans les bâtiments :

"Les égouts fondés à une profondeur moindre que celle d'immeubles plus anciens traversent les murs des caves et perturbent leur équilibre statique. En outre, ils causent une érosion interne du sol sous les fondations, là où les infiltrations sont les plus importantes. Les égouts exercent une influence particulièrement néfaste dans le cas de constructions récentes, fondées sur des sols de remblai voire directement sur le toit de l'égout. Certains des ces bâtiments sont entièrement ruinés."⁴

Ces nombreux problèmes ont conduit à faire une reconnaissance géotechnique de tous les monuments historiques suffisamment fine pour situer tous les puisards, repérer leurs dimensions et évaluer l'état des fondations ; la méthode est basée sur un inventaire des désordres utilisés comme indicateurs de zones à risques⁵. Quant aux moyens de lutte, ils consistent principalement à injecter des résines synthétiques dans les remblais afin de les consolider, à stabiliser les puisards par adjonction de chaux vive⁶.

Ce qui pose la question des remblais modernes. En effet, les problèmes évoqués pour les constructions anciennes s'appliquent en grande partie aux constructions neuves, la différence résidant dans le fait que l'on dispose aujourd'hui de techniques permettant de s'affranchir de ces contraintes : fondations profondes rejoignant une couche

¹. Cf. *infra*, 2^e partie, chap. II, § II.1.2 : "Le plan et le zéro".

². Robine (*op. cit.*, pp. 264-270, 339-344) rapporte de très nombreux désordres, notamment à Paris. Les ingénieurs de l'I.G.C., souvent appelés en consultation pour régler des litiges entre riverains ou entre particuliers et gestionnaires de réseaux, pourraient en faire un catalogue impressionnant.

³. J. PALKA, Z. ZMUDZINSKI, "Saving of monumental buildings in the old city of Cracow", in : *Xe C.I.M.S.T.F.*, *op. cit.*, vol. 3, p. 144.

⁴. *Ibid.*, p. 145.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁶. *Ibid.*, p. 146. La chaux hydraulique absorbe l'eau capillaire et foisonne.

géologique de qualité suffisante, soutènements de fouille particuliers, etc¹. Il ne s'agit pas de minimiser les difficultés, dont on peut avoir un aperçu figure 9. Les fouilles de fondation étant de plus en plus profondes, elles sortent du cadre du sol urbain tel que nous le concevons : la pédosphère n'est constituée que des premiers mètres du sol.

En revanche, les travaux peuvent avoir un impact direct sur le milieu environnant, outre les rabattements de nappe, "les injections de silicate de soude, de résines synthétiques, de bentonite ou de ciment constituent des formations poubéliennes modernes dont les suites sont quelquefois inattendues"². En effet, les techniques d'injection connaissent un fort développement en France (d'où conjointement un faible développement des techniques de congélation, utilisées depuis longtemps en Europe de l'Est, selon Lucien Lupiac)³.

Il peut s'agir de combler les vides rencontrés ; par exemple, lors des reconnaissances effectuées pour la station Gare du Nord du R.E.R., on a découvert un vide en forme d'œuf de 12 mètres de hauteur maximum et de 20 à 25 mètres de large, on a dû injecter 4 500 m³ d'un coulis de béton dans ce fontis en évolution⁴.

On peut aussi avoir recours aux injections pour consolider ou étancher des matériaux inadéquats. Citons le cas de la station Auber de la ligne A du R.E.R. : "Le choix de la R.A.T.P. pour traiter les différents horizons s'est porté sur l'injection systématique aussi bien pour les conforter que pour les étancher sur 27 m de hauteur."⁵ Mais Anne-Marie Prunier-Leparmentier ajoute :

"Aucun document relatif au chantier ne prenait en considération la pérennité des traitements, ni même l'impact des réactifs organiques sur le sol et les nappes concernés. Il semble qu'actuellement ces problèmes intéressent davantage les entreprises de coulis, gel et résines. On s'est en effet rendu compte que ces modes de traitement se généralisent et peuvent parfois nuire à l'équilibre physico-chimique de l'environnement."⁶

¹. On trouvera sept exemples de chantiers en milieu urbain ayant présenté des difficultés particulières dans : F. BOULET, R. DEVERGNE, "Difficultés rencontrées dans les chantiers urbains", *R.F.G.* (31), 1985, pp. 23-38.

². ROBINE, *op. cit.*, p. 266.

³. L. LUPIAC, "Attitudes et tendances dans l'utilisation du sous-sol", *T.O.S.* (52), 1982, p. 161.

⁴. G. MOYNOT, "Site et structure de la gare souterraine de Paris Nord", *T.O.S.* (20), 1977, p. 67.

⁵. A. M. PRUNIER-LEPARMENTIER, *Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris*, thèse, E.N.S.M.P., 1988, p. 203. Le même procédé a été utilisé lors de la construction de la gare Saint-Michel du R.E.R. C. SELOSSE, "Difficultés particulières rencontrées pour la construction de la gare Saint-Michel du R.E.R. ligne B", *T.O.S.* (86), mars-avr. 1988, p. 78.

⁶. PRUNIER-LEPARMENTIER, *loc. cit.*

Selon Pierre Couprie, "Ces molécules organiques restent dans le sol et donnent lieu au développement de bactéries et de soude. A Auber, on aperçoit de belles coulées de soude. Entre Châtelet et Gare du Nord, dans le R.E.R., on respire du H₂S imputable aux bactéries sulfatantes vivant sur le stock des produits."¹ Mais aucun recensement de la nature et de l'emplacement des injections n'est effectué.

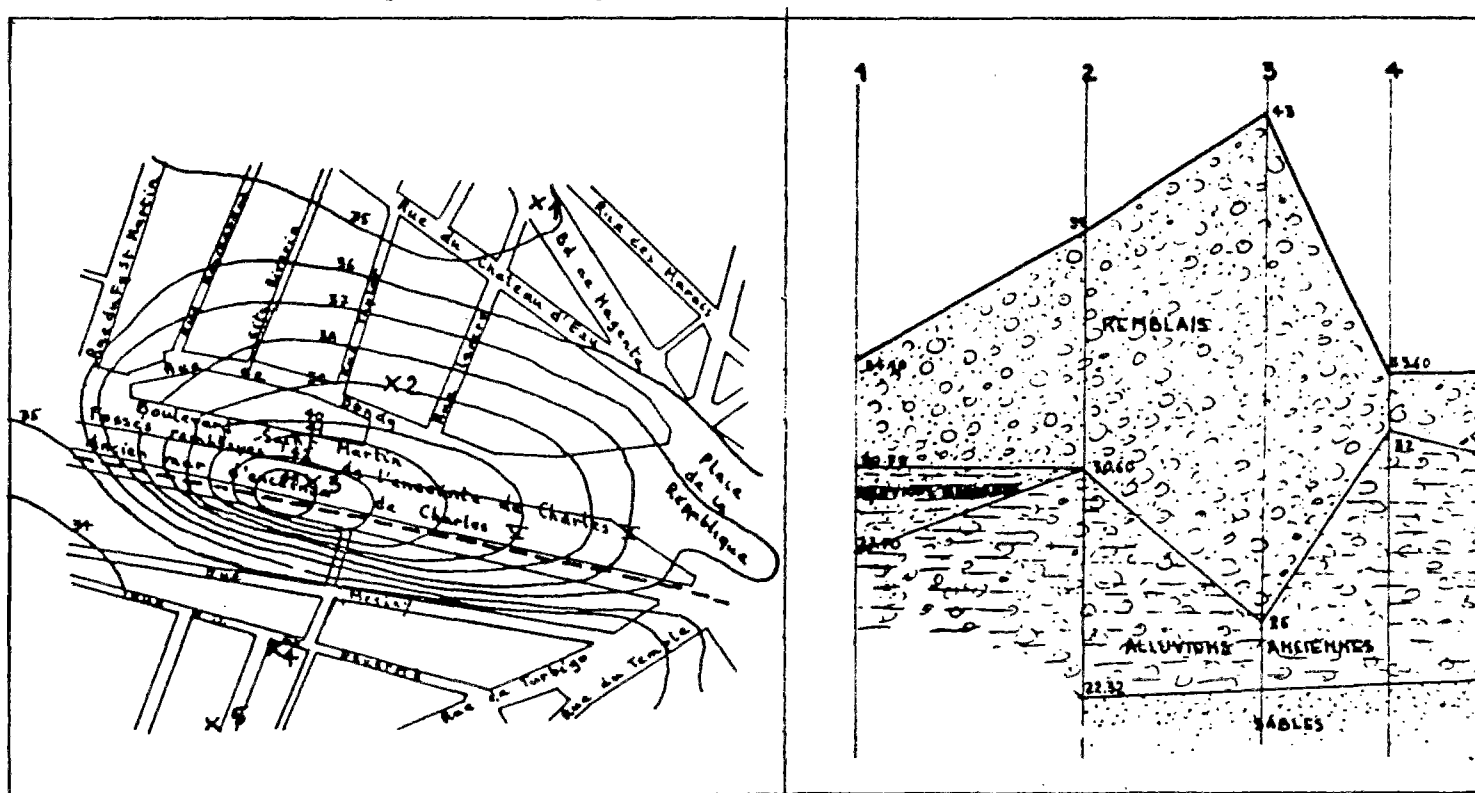


Figure 8. Coupe d'une ancienne voirie parisienne faite d'après l'Atlas géologique des vingt arrondissements de Paris.

Source : J. ROBINE, "Un étage géologique méconnu : le poubélien urbain et ses fossiles", *Travaux souterrains* 9(158), 1969, p. 341.

Enfin, le remblai n'épargne pas les zones péri-urbaines, qui accueillent les déchets ménagers ou industriels, que l'on a de plus en plus tendance à urbaniser du fait de la pression foncière. Il est vrai que l'on a bâti de longue date sur ce type de support, dans la mesure où les villes ont toujours déposé leurs déchets à proximité de leurs limites (figure 8). A Paris,

¹. P. COUPRIE, intervention dans le débat "La politique suivie pour l'eau est-elle un modèle ?", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (23), 1988, p. 97. Le bruit court que cette odeur désagréable provient de charniers de la Commune.

"Ces lieux accoutumés étaient les voiries ou décharges publiques, situées d'abord à peu de distance de l'enceinte de Philippe-Auguste.

"Les deux plus anciennes étaient même dans l'intérieur de la ville ; elles formèrent, suivant Girard, deux éminences, l'une à la pointe occidentale de la Cité, qu'on appelait le terrain ou *motta papellardorum*, l'autre, derrière l'Hôtel de Ville, était désignée sous le nom de *Monceau Saint-Gervais*. Toutes les deux ont à peu près disparu, et, dans le nivellement général des rues de Paris, à peine remarque-t-on une surélévation de un mètre aux points désignés.

"Mais les autres, situées hors l'enceinte de la ville, ont laissé des traces plus durables."¹

Ces terrains ont pour la plupart été urbanisés par la suite, jusqu'à la dernière voirie de Paris, à Bondy (aujourd'hui dans la commune des Pavillons-sous-Bois)².

Il en va de même des décharges du XXe siècle. Sowers écrivait en 1968 : "Aujourd'hui, la rareté du terrain à proximité des villes indique qu'il deviendra finalement impératif d'utiliser les zones de décharge pour l'urbanisation future"³. Cette constatation l'amenait à proposer une étude très détaillée des sites de décharges et des problèmes de fondations ; elle demeure une référence aujourd'hui. Malheureusement, les déchets américains n'ont pas la même composition que les nôtres (tableau 7)⁴.

Les principales caractéristiques de ces décharges sont l'hétérogénéité du matériau, sa densité très variable d'un site à l'autre, sa forte teneur en eau, son importante activité biochimique ; soit pour des résidus urbains français :

- masse volumique 1,5 à 5 kN/m³ ;
- indice des vides⁵ 15 à 2 ;
- teneur en eau⁶ 10 à 35 % ;
- activité biochimique profonde exothermique, avec des températures allant de 30 à 60 °C⁷.

Se pose alors pour le constructeur la question de :

¹. E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pp. 13-14.

². Cf. *infra*, 2e partie, chap. III, § III.4.2.

³. G. F. SOWERS, "Foundation problems in sanitary land fills", *Journal of the sanitary engineering division-Proceedings of the American society of civil engineers* 94(SA1), p. 104.

⁴. G. CARTIER, N. T. LONG, P. POUGET, R. BARGILLAT, J. P. CUDENNEC, "Déchets urbains et pneumatiques usagés en génie civil", in : *Xe C.I.M.S.T.F., op. cit.*, vol. 3, p. 603.

⁵. Rapport du volume des vides au volume des grains solides contenus dans le sol.

⁶. Rapport du poids de l'eau au poids des grains.

⁷. CARTIER, "les résidus urbains ou industriels comme sous-sol de fondation", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain, op. cit.*, vol. 1, p. 410.

- leur force portante ;
- des tassements, qui peuvent être dus à :
 - l'action mécanique : réorganisation des particules, diminution des vides,
 - l'eau : elle peut en s'écoulant être facteur d'érosion, déplacer des éléments fins vers les vides les plus importants,
 - l'action physico-chimique : la fermentation entraîne une diminution du volume¹ ;
- de la corrosion et de la production de gaz ; en effet, la production de méthane représente :
 - un risque sérieux d'explosion : dans le cas du remblai du port de Tokyo par des déchets urbains (800 à 1 000 tonnes par jour), il est nécessaire de les brûler *in situ* après quelques mois pour éviter les explosions,
 - un effet poison pour la végétation,
 - un risque pour la santé : "dans un cas, les habitants du rez-de-chaussée d'un petit immeuble de logements bâti sur une décharge ont contracté une maladie qu'il était impossible de diagnostiquer. Après de nombreuses recherches, on se rendit compte qu'il y avait suffisamment de méthane dans l'air de ces appartements pour causer ces symptômes."²
 - d'autre part, les acides organiques et le gaz sulfureux produits attaquent les métaux et détériorent le béton, l'ion sulfate pouvant en empêcher la prise³.

Toutes ces contraintes incitent aussi bien Cartier que Sowers à souligner que la programmation d'une décharge devrait tenir compte de son utilisation potentielle future, aussi bien dans le choix du site que dans les procédés de mise en décharge. En outre, on ne peut dans ce cas précis que constater l' "inadaptation de la plupart des essais classiques de mécanique des sols"⁴, en particulier des essais de laboratoire, ce qui a amené le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées à étudier le problème en vraie grandeur dans une décharge remblayée depuis trente ans, dans la commune de Roanne⁵.

¹. *Ibid.*, pp. 412-413.

². SOWERS, *op. cit.*, pp. 114-115.

³. CARTIER, *op. cit.*, p. 412.

⁴. *Ibid.*, p. 407.

⁵. CARTIER *et al.*, *op. cit.*, p. 603.

Tableau 7. Composition moyenne des décharges de résidus urbains.

Constituants	%	Caractéristiques
Déchets alimentaires	10-20	Humides, compressibles, fermentent et pourrissent rapidement
Papiers-Tissus	10-40	Humides, compressibles, pourrissent et brûlent
Déchets végétaux	10-20	Très humides, fermentent, pourrissent et brûlent
Matières plastiques	1-2	Sèches, compressibles, indestructibles sauf par combustion
Métaux légers (boîtes, ressorts...)	5-15	Secs, se corrodent et s'écrasent
Masses métalliques	1	Sèches, rigides, se corrodent légèrement
Caoutchouc (pneus)	5-10	Sec, brûle, compressible mais ne s'écrase pas, ne pourrit pas
Vere	5-15	Sec, incompressible, s'écrase, ne pourrit pas
Matériaux de démolition	0-15	Secs, s'écrasent et se compriment
Cendres, déchets chimiques	0-5	Très humides, compressibles, chimiquement actifs, partiellement solubles

Source : G. CARTIER, "Les résidus urbains ou industriels comme sous-sol de fondation", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, Orléans : B.R.G.M., 1979, vol. 1, p. 410.

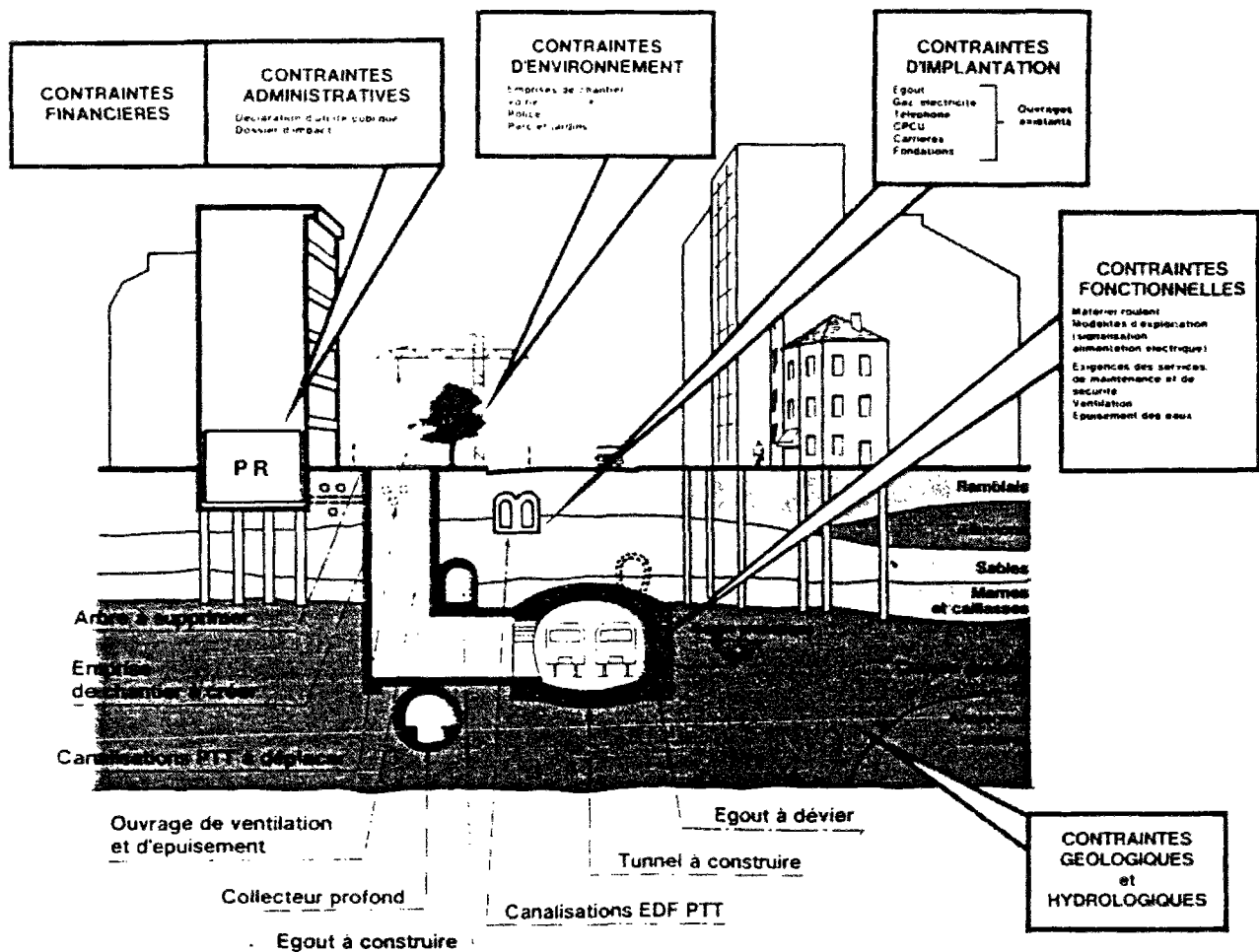


Figure 9. Construire en site urbain : les contraintes d'environnement.
 Source : L. LUPIAC, "Attitudes et tendances dans l'utilisation du sous-sol", *Tunnels et ouvrages souterrains* (52), 1982, p. 165.

I.3. CONCLUSION.

Ainsi, du seul point de vue des réseaux techniques urbains et des fondations, nous voyons que de nombreuses interrogations subsistent, et que, malgré une tendance à la rationalisation de l'exploitation notamment dans le cas des réseaux, le chaos demeure la principale caractéristique du sol urbain. On perçoit une partie des raisons de cette situation dans le développement qui précède : la ville a été construite au gré des besoins, les siècles s'y succèdent et s'y côtoient avec plus ou moins de bonheur et ce processus dynamique — fondamental ici — ne laisse pas toujours le temps de la réflexion au bâtisseur.

Toutefois, on ne peut qu'être surpris du décalage qui existe entre la recherche appliquée et les problèmes concrets, particulièrement en ce qui concerne les réseaux. Alors que la croissance urbaine est relativement faible, le développement des sols techniques (galeries et caniveaux) nous paraît quelque peu inutile dans la mesure où il est économiquement impossible de remplacer les réseaux existant dans les centres urbains denses, d'autant plus que la réhabilitation y a pris le pas sur la rénovation.

En outre, les disciplines de tutelle — mécanique des sols, géologie¹, hydrogéologie — semblent démunies face à la complexité du milieu urbain : il est à ce titre remarquable que les cartes de risque géotechnique, si elles mentionnent les cavités souterraines, fassent abstraction des remblais.

Par ailleurs, si quelques recherches ont été menées sur le rôle des polluants dans la stabilité des sols, les questions de salubrité sont laissées de côté. Certes, les matériaux émergés sont soumis à divers contrôle, notamment par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.), mais la question des injections ne laisse pas d'être préoccupante, comme celle des décharges.

¹. Rendons néanmoins hommage à Robert Soyer et à sa *Géologie de Paris* (Paris, 1953) qui consacre plusieurs pages aux remblais et tente d'en établir une typologie.

CHAPITRE II : ECOLOGIE ET PÉDOLOGIE

Le thème de l'écologie et de la pédologie ne peut pas être traité de la même manière que le précédent. En effet, si les constructeurs œuvrent naturellement en milieu urbain mais n'en saisissent pas la complexité, sa prise en compte par les sciences naturelles est un phénomène récent mais intense, bien que l'écologie urbaine n'ait pas encore une définition consensuelle. Il est donc nécessaire de dire quelques mots des rapports de la pédologie avec la ville avant l'émergence de l'écologie urbaine.

II.1. GENESE

II.1.1. LA VILLE SANS SOL

La pédologie considère le sol dans les processus dynamiques mais très lents — à l'échelle pluri-millénaire — qui le construisent, elle ne peut donc considérer le sol urbain comme l'un de ses centres d'intérêt ; la science du (ou des) sol(s)¹ s'est quant à elle consacrée préférentiellement aux sols naturels ou cultivés, dans le but d'améliorer leur fertilité et leur productivité. Or on n'attend pas du sol urbain qu'il nourrisse les habitants de la ville².

Cependant, certains sols ont été durablement affectés par les activités humaines, au point qu'ils constituent des horizons³ particuliers, comme le montre Franco Previtali :

"La classification FAO (1975) comme la taxinomie des sols américaine (1975) distinguent un *épipedon* particulier, l'horizon *anthropique*, reconnu comme un horizon modifié aussi par Duchaufour (1970). Le sol, en somme, conserve l'empreinte laissée par l'homme, à travers toutes ses activités, qu'elles soient artisanales ou agricoles, qui se succèdent aux cours des âges.

"La dénomination d'anthropique s'applique à un épipedon sombre, parfois noir, riche en matière organique, et ayant un taux de P₂ O₅ [...] supérieur à 250 p. p. m. Le qualificatif d'*agraire* s'applique au contraire à un *horizon de profondeur* [...], enrichi en argile, humus et limon d'origine illuviale⁴, en conséquence directe de la mise en culture, du travail du sol et des amendements effectués dans la couche de terre arable sus-jacente"⁵.

Par exemple, le sol des Flandres sableuses comprend un horizon supérieur dans lequel on retrouve la trace de la terre de bruyère utilisée comme litière dans les étables, puis pour

¹. Dans la suite du texte, nous utiliserons indifféremment les termes de *pédologie* et de *science du (ou des) sol(s)*.

². C'est malgré tout un thème important dans les recherches consacrées aux pays en voie de développement. Voir par exemple : I. SACHS, "Un autre développement urbain", *Metropolis* (64-65), 4e trim. 1984, pp. 60-61.

³. Le sol au sens des pédologues est la couche qui, située sous la litière de végétaux morts, rejoint la roche mère ; il résulte à la fois de l'altération de la roche mère et de la décomposition des matières organiques, ainsi que des interactions entre la phase organique et la phase minérale. Le profil du sol peut être divisé en horizons (couches superposées) suivant leur composition. L'épipedon est un horizon de surface particulier, riche en matière organique, dans lequel la structure de la roche a été détruite.

⁴. Provenant des horizons supérieurs.

⁵. F. PREVITALI, *Introduzione allo studio dei suoli*, Milan : CLESAV, 1984, pp. 56. P₂ O₅ est le pentaoxyde de phosphore ; p. p. m représente le nombre de particules par million.

l'amendement du sol. L'*épipedon plaggen* désigne quant à lui le sol brun ou noir d'une épaisseur non négligeable (50 à 100 cm), riche en matière organique, qui s'est développé dans des zones où l'on a déposé des gravats, des restes de céramique, des fumiers¹. Les classifications réalisées à l'échelle nationale prennent dans certains cas en compte ces sols anthropiques :

"Tels sont le groupe des *Man-made Raw Soils* (Sols gréseux sur matériaux de décharge) et le Grand Groupe des *Man-made Soils* (dont l'horizon supérieur est épais et travaillé) de la classification anglaise ; dans la classification polonaise la division des *Sols anthropogéniques* comprend la classe des *Sols des terres cultivées* [...] et la classe des *Sols des terres industrielles* (avec un Type produit par les décharges de matériaux industriels de rebut et un autre dû à la contamination du milieu) ; la classification tchécoslovaque comprend parmi les 13 grands groupes celui des *Sols anthropogéniques*."²

Mais ces catégories ne concernent pas directement le milieu urbanisé. De plus, la pédologie appliquée, qui a entre autres pour objectif de définir les aptitudes du sol à divers usages, utilise comme critère prépondérant la fertilité, et c'est tout naturellement en procédant par élimination que l'on définira une potentielle utilisation urbaine (ou industrielle). Aussi, Previtali et D. De Wrachen écrivent-ils : "chercheurs et techniciens, travaillant dans le milieu des disciplines spatiales, acceptent progressivement le principe selon lequel les établissements urbains et industriels doivent être localisés sur des sols à faible potentialité agricole"³. Plus tôt, la *Charte européenne des sols* insistait sur le caractère négatif de l'utilisation urbaine du sol :

"Les villes occupent et rendent stérile le sol sur lequel elles sont construites. Elles affectent aussi les zones avoisinantes, en raison des infrastructures nécessaires au fonctionnement de l'espace urbanisé [...] et des quantités croissantes de déchets à évacuer.

¹. *Ibid.*, loc. cit.

². *Ibid.*, p. 58.

³. PREVITALI, D. DE WRACHEN, "Il contributo della geopedologia nella programmazione territoriale : alcuni esempi di applicazione", *Geologia applicata e idrogeologia* 14(1), 1979, p. 143. Dans le même ordre d'idées, Bauer ("The use of soils data in regional planning", in : SIMONSON (ed.), *Non agricultural applications of soil surveys*, Amsterdam : Elsevier, 1974, p. 1) écrit : "Dans un secteur donné, les ressources du sol constituent un des éléments les plus importants de la ressource naturelle et influencent aussi bien le développement rural que le développement urbain. Par conséquent, lors de la programmation de l'aménagement de tout secteur, il est nécessaire d'examiner non seulement quels sont les usages actuels des sols mais aussi comment ceux-ci pourraient être mieux utilisés et gérés."

"L'urbanisation doit être concentrée et organisée de manière à éviter autant que possible l'occupation des sols de bonne qualité ainsi que la dégradation et la pollution des sols dans les régions agricoles ou forestières, les réserves naturelles et les zones de loisirs."¹

Cette analyse, qui constate le gaspillage passé de sols fertiles par une utilisation urbaine, si elle est parfaitement légitime, ne nous renseigne pas sur ce qu'il est advenu du sol urbanisé.

En outre, persuadés de l'inutilité de la science du sol traditionnelle dans le cadre bâti et urbain, certains pédologues ont choisi de mettre leur discipline au service d'autres préoccupations que les leurs, et en particulier du bâtiment et des travaux publics : "Des suivis intensifs [...] sont nécessaires pour la cartographie détaillée de petites zones [...], par exemple pour réaliser des inventaires forestiers, des schémas d'irrigation, [...] ou des travaux de génie civil."²(c'est nous qui soulignons). Et l'on trouve, dans l'importante collection *Developments in soil science*³, un volume intitulé *Non agricultural applications of soil surveys*⁴. Ces applications sont : l'aménagement régional (ce qui rejoint la démarche développée ci-dessus) ; le choix des sites de décharges ; l'aménagement. Dans ce dernier cas, il s'agit d'analyser les propriétés des sols en vue d'une urbanisation future⁵ (Previtali cite une expérience similaire qui a consisté à définir dans un secteur donné "*les aptitudes du sol à la construction*"⁶), et d'aider au choix des fondations en fonction de la qualité des sols de surface⁷. En effet, les paramètres des sols utilisés par la pédologie et applicables dans ce cas⁸ ne sont pas toujours propres à cette discipline

1. *Charte européenne des sols*, Conseil de l'Europe, août 1972, article 7.

2. R. F. BREIMER, A. J. VAN KEKEM, H. VAN REULER, *Guidelines for soil survey and land evaluation in ecological research*, Paris : UNESCO, 1986, p. 15.

3. Coll. "Developments in soil science", Amsterdam/ Londres/ New York : Elsevier, 17 volumes parus entre 1972 et 1987.

4. R. W. SIMONSON (ed.), *Non agricultural applications of soil surveys*, réimpression [1ère éd. in : *Geoderma* 10(1-2), 1973], Amsterdam : Elsevier, 1974, viii+178 p.

5. D. E. PETTRY, C. S. COLEMAN, "Two decades of urban soil interpretations in Fairfax county, California", in : SIMONSON (ed.), *op. cit.*, pp. 27-34 ; J. D. LINDSAY, M. D. SHEELAR et A. G. TWARDY, "Soil survey for urban development", in : SIMONSON (ed.), *op. cit.*, pp. 35-45.

6. PREVITALI, *op. cit.*, p. 152.

7. G. D. AITCHINSON, "25 years of soil survey principles in the practice of foundation engineering", in : SIMONSON (ed.), *op. cit.*, pp. 99-112.

8. Previtali et De Wrachen (*op. cit.*, p. 142) en ont fait la liste : plasticité, potentiel de gonflement-retrait, densité, teneur en eau, texture, corrosivité, pendage et stabilité des pentes, épaisseur du sol, profondeur de la roche-mère, perméabilité, etc.

(perméabilité, teneur en eau, densité, etc. sont prises en compte dans la mécanique des sols traditionnelle, mais de façon moins précise), mais l'apport de la pédologie concerne la couche superficielle du sol que les sondages à vocation géotechnique éludent généralement, en adoptant la désignation générique de «terre végétale» ou de «remblai», arrêtant là sa caractérisation. Dans le cas de bâtiments de faible hauteur, et dans certains contextes géotechniques, la pédologie peut donc constituer un apport intéressant dans le but de réaliser des fondations peu coûteuses.

Toutefois, si ces applications nous rapprochent de l'urbain, elles sont toutes basées sur l'étude de sols naturels destinés à accueillir une éventuelle urbanisation. Aitchinson remarquait déjà, avec embarras, les limites de la méthode en 1973. En effet, les indicateurs pédologiques utilisés en zone naturelle ou urbaine peu dense pour caractériser le comportement mécanique des sols deviennent inopérants en milieu totalement urbanisé¹.

1. AITCHINSON, *op. cit.*, p. 110.

II.1.2. ECOLOGIE URBAINE

Nous n'aborderons pas la question de l'écologie urbaine des sociologues, fondée par l'école de Chicago¹, ni de l'écologie factorielle — application de l'analyse factorielle à la sociologie — qui n'a d'écologie que le nom. Nous ne considérerons donc ici que l'application de l'écologie dite scientifique à la ville, *i. e.* à l'environnement physique urbain.

Tableau 8. Métabolisme d'une ville américaine fictive d'un million d'habitants.

Entrées (tonnes/jour)		
Eau	Nourriture	Energie fossile (charbon, gaz, pétrole...)
625 000	2 000	9 500
500 000	2 000	950
Eaux usées	Déchets	Polluants atmosphériques
Sorties (tonnes/jour)		

D'après : A. WOLMAN, "The metabolism of cities", *Scientific American* 213(3), sept. 1965, p. 180.

La genèse de l'écologie urbaine contemporaine (dans ses deux acceptions) a été retracée par Philippe Mirenowicz² puis Francis Beaucire³. On peut en situer l'émergence dans les années 1960, l'article d'Abel Wolman — au titre révélateur : "The metabolism of cities"⁴ — étant généralement considéré comme fondateur de la prise de conscience de la gourmandise urbaine. Il est certain qu'il en est le révélateur : Wolman constate la

¹. Elle sera très brièvement abordée au chapitre V de la deuxième partie. Dans la problématique actuelle, un des concepts issus de l'écologie qui séduit le plus les sociologues est la *diversité* : en effet, l'écosystème au *climax* (phase de maturité et de stabilité) comprend une grande diversité d'espèces, donc une utilisation optimale de toutes les ressources. La diversité peut donc être un indicateur de l'état de santé d'un écosystème ; le transfert vers les sciences humaines consiste à affirmer que l'équilibre social d'une collectivité ne peut être réalisé que si toutes les classes y sont représentées. Pour les écologues, la notion de diversité est à examiner avec prudence, ne serait-ce que dans le choix des indicateurs. Voir : J. VIEIRA DA SILVA, *Introduction à la théorie écologique*, Paris : Masson, 1979, chap. 4 : "Diversité".

². P. MIRENOWICZ, *Bibliographie : écologie urbaine*, Paris : S.T.U./C.D.U., 1982, pp. IV-XIX.

³. F. BEAUCIRE, *Enquête sur la notion et les pratiques de l'écologie urbaine*, rapport de recherche pour le PIREN, 1985, p. 26 sq.

⁴. A. WOLMAN, "The metabolism of cities", *Scientific American* 213(3), sept. 1965, pp. 179-190.

transformation de matière et d'énergie en polluants divers (tableau 8), il examine les différents modes de traitements des eaux, soulignant le défaut d'équipement de certaines villes américaines, tout comme la pollution de l'air et ses origines. Toujours est-il que l'idée était lancée et que, crise pétrolière aidant, s'est développée cette notion de métabolisme urbain, avec des analyses de plus en plus complexes des flux d'énergie et de matières dans la ville : contemporain de la comparaison du lac et de la ville (fictive encore une fois) réalisée par Eugen P. Odum¹ — qui a fait date — (figure 10), l'écosystème *urbs* de Paul Duvigneaud². Parallèlement, la climatologie urbaine se développait avec les ouvrages de H. E. Landsberg³, puis T. J. Chandler⁴ et J. Dettwiller⁵.

C'est dans ce contexte qu'a été lancé en 1971 le programme Man and Biosphere (MAB) de l'UNESCO dont un volet est consacré aux établissements humains (projet 11). Son objectif est particulièrement ambitieux. Il s'agit :

"d'étudier de quelle façon les conditions de société (l'organisation et la structure d'une société, ses industries, ses systèmes de transport, ses machines, son environnement construit) affectent à la fois l'environnement naturel (tous les composants vivants ou non vivants des écosystèmes locaux et régionaux susceptibles d'être influencés par les composants artificiels — bâtiments, routes, véhicules — des systèmes humains) et la qualité de l'environnement humain."⁶

De nombreuses villes ont ainsi été passées au crible : Vienne, Barcelone, Rome, Hong Kong, Tokyo, Francfort, etc. A l'analyse des flux d'énergie, de matière et de polluants, s'est adjointe celle, plus précise, du biotope et de la biocénose urbaine, à l'échelle de l'agglomération, de la ville, du quartier. Mais le résultat n'est peut-être pas à la hauteur des espérances. Citons deux cas : Rome, où enquêtes psychologiques et études

1. E. P. ODUM, *Fundamentals of ecology*, New York : H.R.W., 1975.

2. P. DUVIGNEAUD, "L'écosystème «urbs»", *Mémoires de la société royale de botanique belge* 6, 1974, pp. 5-35. Les travaux de Duvigneaud ont inspiré une thèse française : B. DAMBRIN, *Ecologie urbaine : le cas de la région parisienne*, thèse de 3e cycle, Université de Paris VII, 1982.

3. H. E. LANDSBERG, *The climate of towns : man's role in changing the face of the earth*, Chicago, 1956.

4. T. J. CHANDLER, *The climate of London*, London : Hutchinson, 1965.

5. J. DETTWILLER, "Evolution séculaire du climat de Paris : influence de l'urbanisation", *Mémorial de la météorologie nationale* (52), 1970. Beaucoup plus récemment : G. ESCOURROU, *Le climat et la ville*, Paris : Nathan, 1991.

6. S. BOYDEN et al., *Une approche écologique intégrée pour l'étude des établissements humains*, Paris : UNESCO, 1979, p. 12.

de l'écosystème sont parfaitement disjointes¹ ; Hong Kong, que nous avons évoqué en introduisant ce travail. S'ils appellent de nombreuses critiques, notamment sur les présupposés idéologiques qui les fondent et sur leur manque d'épaisseur historique (assertion à nuancer dans le cas de la botanique), ces travaux ont le mérite d'exister.

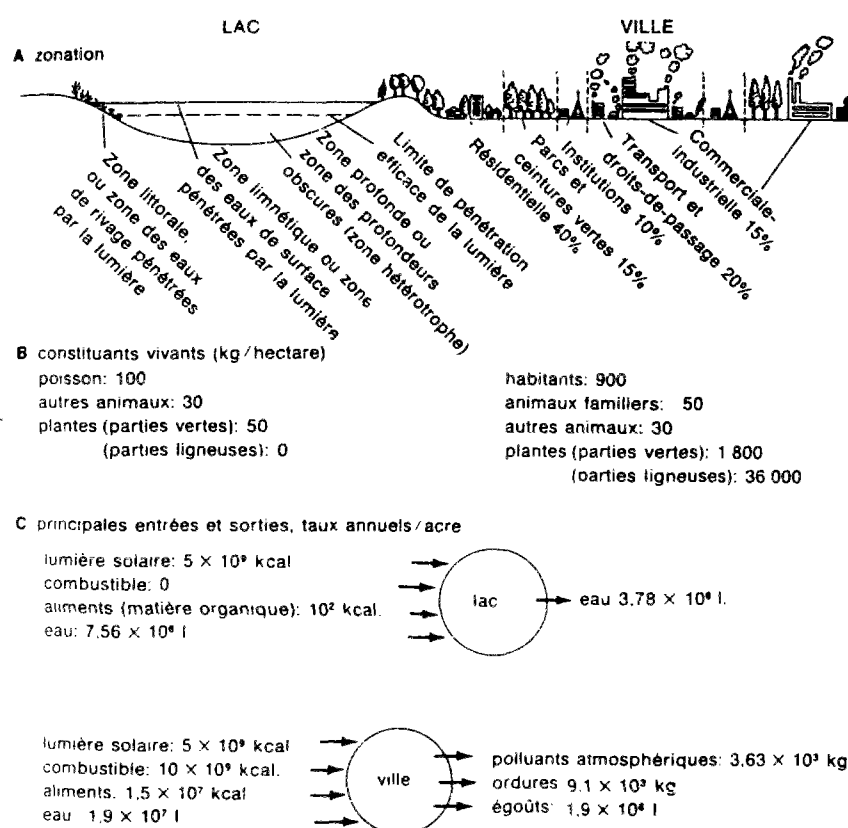


Figure 10. Le métabolisme urbain et l'écosystème lacustre.

Source : E. P. ODUM, *Ecologie. Un lien entre les sciences naturelles et les sciences humaines*, Montréal : H.R.W., 1976, p. 39, figure 2.7.

¹. M. BONNES (ed.), *Urban ecology applied to the city of Rome*, Rome : MAB Italia, 1987.

Or il faut bien avouer que la recherche française en la matière reste timide. En 1985, Francis Beaucire a été chargé, dans le cadre du Programme Interdisciplinaire de Recherche "Environnement" (PIREN) du C.N.R.S., d'en faire le bilan. Il a ainsi pu souligner l'absence d'intérêt des écologues français pour l'écosystème que pourrait être la ville, qui selon lui "peut se comprendre par le fait que l'écosystème urbain malmène bien trop les concepts écologiques pour être admis sans négocier (en particulier, il est très «ouvert»)"¹. Depuis, il semble que la situation n'ait guère évolué : les deux numéros que la revue *Métropolis* a consacré à la question en 1984 et 1985 font toujours référence², et la dispersion des travaux présentés lors du colloque tenu récemment à Mions (Rhône)³ témoigne du manque d'assise de l'écologie urbaine française. Si deux villes ont été étudiées dans le cadre du programme MAB (Saint-Quentin-en-Yvelines et Melun-Sénart), les projets ont, semble-t-il, tourné court.

L'un des principaux écueils est probablement la trop grande disciplinarité des recherches françaises, malgré la mise en place de programmes interdisciplinaires par le C.N.R.S., et l'enthousiasme de Dettwiller en 1970 :

"L'intérêt que soulève [sic] les conditions de vie dans les grandes villes, se traduit d'ailleurs dans l'évolution des relations entre les diverses branches intéressées : les cloisons qui séparaient des disciplines aussi diversifiées que la climatologie et la médecine, la chimie et l'architecture, s'estompent progressivement en raison de la multitude et de la complexité des problèmes posés par l'étude de ces milieux urbains."⁴

Le cas du sol est d'ailleurs révélateur du retard français : ce n'est qu'en 1988 que son rôle dans le dépérissement de la végétation urbaine a été pris en compte⁵, en dépit des recherches étrangères que nous allons bientôt résumer.

¹. BEAUCIRE, "Les recherches françaises en écologie urbaine", in : COMMISSION ARCHITECTURE, URBANISTIQUE, SOCIÉTÉ, *Etats des lieux, thèmes émergents*, vol. 3, *Milieus et réseaux urbains*, Paris : C.N.R.S., 1985-1986, p. 25.

². "Ecologie urbaine : nouveaux savoirs sur la ville", *Metropolis* (64-65), 1984, pp. 3-112 ; "Ecologie urbaine : des villes en action", *Metropolis* (66), 1985, pp. 2-83.

³. *Colloque national d'écologie urbaine*, actes du colloque de Mions, 27-28 sept. 1991, Lyon : Université Claude Bernard Lyon I - Institut d'Analyse des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques, 1992.

⁴. DETTWILLER, *op. cit.*, p. 10.

⁵. *Le dépérissement des arbres en ville*, Paris : S.T.U., 1988. D'ailleurs, cette étude, conduite par l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), avait été lancée afin d'étudier l'action de la pollution atmosphérique sur la santé des arbres ; ce n'est qu'en cours de route que l'on a constaté que d'autres facteurs étaient à prendre en compte, le seul facteur atmosphérique expliquant pourquoi les arbres dépérissaient, mais pas pour quelle raison certains se portaient à merveille.

En effet, la recherche sur le sol biologique est, en l'état actuel des choses, indissociable d'un changement d'attitude à l'égard des espaces verts. Leur rôle n'est plus seulement esthétique et ludique, mais aussi mésologique et pédagogique. Ces thèmes reviennent régulièrement dans les actes du séminaire qui leur a été consacré à Barcelone en 1988 sous l'égide du programme MAB : "il est important de s'attacher à la valorisation (économique incluse) du bénéfice que l'on peut tirer des zones vertes pour la qualité de la vie de la population. Ces bénéfices (avantage climatique [...], avantage social [...]) peuvent être appréhendés."¹ Or la ville n'est pas toujours favorable au développement harmonieux de la végétation ; en outre, la multiplication des zones vertes nécessite un mode de gestion moins coûteux qu'il ne l'a été jusqu'à présent.

Ainsi naît l'idée d'une gestion reposant autant que possible sur le fonctionnement naturel de l'écosystème que l'on rencontre dans le compte rendu du séminaire de Barcelone : le groupe de travail "investigation" insiste sur la nécessité d'implanter des espèces compatibles avec le climat urbain local et de favoriser une "amélioration des conditions physiques et chimiques du sol urbain."² De même, le groupe de travail sur les sols et leur zoologie dans les écosystèmes urbains réuni en septembre 1986 à Berlin, toujours dans le cadre du programme MAB, conclut-il, entre autres :

"Il est nécessaire de mettre au point des techniques peu coûteuses grâce auxquelles les zones gazonnées, pauvres en espèces et régulièrement tondues, pourront rapidement être converties en une série d'écotopes qui demandent peu d'entretien pour se maintenir ou pour se transformer écotopes aussi acceptables.

.....

"En terme d'analyse coût-bénéfice, l'évidence que l'on doit garder à l'esprit devrait toujours être :

"Plus l'écosystème est éloigné d'un état proche de l'état naturel, plus l'entretien est important, donc plus il est coûteux'"³.

¹. "Conclusiones, grupo de trabajo sobre planificación y gestion", in : *Seminario internacional sobre uso, tratamiento y gestion del verde urbano*, Barcelone : Ajuntament da Barcelona, nov. 1988, p. 24.

². "Conclusiones, grupo de trabajo de investigación", in : *Seminario internacional sobre uso, tratamiento y gestion del verde urbano*, op. cit., p. 22.

³. "Summary and conclusions", in : WEIGMANN (ed.), *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*, rapport du groupe de travail de Berlin, sept. 1986, Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere", oct. 1989, pp. 10-11.

Une deuxième volonté entre en ligne de compte : celle de créer des îlots de nature sauvage dans la ville (si tant est que ce soit possible), dans un but à la fois ludique et pédagogique. Un des exemples les plus célèbres est le William Curtis Ecological Park de Londres, créé en 1977. Il s'agissait d'une friche qui a pu être transformée en parc en cinq mois grâce au travail volontaire, pour un coût de deux mille livres (clôture exclue). Un si faible budget interdisait l'apport de terre végétale, on a donc utilisé le parc pour l'accueil des déblais des chantiers voisins : l'économie faite par les entrepreneurs en transport (vers les décharges extérieures) les a incités à prêter le matériel nécessaire à l'aménagement du sol du parc. Trois mois après, la vie «sauvage» commençait à se développer, sans engrais¹.

Quoi que l'on pense de ces *jardins naturels* (qui deviennent parfois si vigoureux qu'il est impossible d'y pénétrer), ils sont souvent à l'origine des travaux que nous allons aborder maintenant.

¹. F. B. O'CONNOR, "Wildlife in the city", *Landscape research* 6(3), hiv. 1981, p. 3.

II.2. PÉDOLOGIE APPLIQUÉE EN MILIEU URBAIN

II.2.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Constatant les importantes différences qui existent dans les conditions environnementales entre la ville et le milieu naturel ou rural, la première question que se sont posée les chercheurs est simple, mais anime un réel débat scientifique : existe-t-il un sol urbain, caractéristique de ces conditions particulières ? L'équipe dirigée par Makoto Numata qui se consacre à l'étude des écosystèmes urbains depuis 1971, en particulier à l'agglomération de Tokyo préfère ne pas y répondre¹ ; plus tard, E. M. Zheveleva, M. E. Ignatyeva et D. N. Kavtaradze concluent de leurs analyses que les sols urbains pourraient constituer un groupe à part entière². Mais M. Schaefer, lorsqu'il introduit son analyse bibliographique consacrée aux arthropodes dans les sols urbains, affirme que l'on ne peut séparer la pédosphère urbaine d'une autre³.

Quoi qu'il en soit, les premières analyses du sol urbain ont été réalisées par comparaison entre des prélèvements, souvent ponctuels, faits en milieu urbain et en milieu naturel (ou susceptible de refléter un état naturel). C'est le cas des études menées par Ryunosuke Hamada et H. Suzuki à Tokyo, qui ont comparé les caractéristiques chimiques et bactériologiques d'échantillons issus du Parc National pour l'Etude de la Nature (sol développé sur cendres volcaniques) de Meguro (Tokyo) et d'une forêt dépendant de l'Université de Tokyo, avec des échantillons prélevés le long de trois rues plantées d'arbres situées respectivement à l'intérieur (Yasukuni street), à un kilomètre (Waseda street) et à vingt kilomètres (Gakuen street) du centre de la ville⁴. Les propriétés du sol présumé naturel traduisent son origine volcanique : coefficient d'absorption du phosphore élevé, pH faible (donc sol acide), teneur en eau du sol séché à l'air relativement importante ; tandis qu'il n'en est rien en ce qui concerne le sol des trois rues

¹. R. HAMADA, "Urban ecosystem and soil", in : M. NUMATA (ed.), *Fundamentals studies in the characteristics of urban ecosystems*, s. l., mars 1973, p. 17.

². E. M. ZHEVELEVA, M. E. IGNATYEVA, D. N. KAVTARADZE, "Soil and the problem of urban plant community formation in the "Ecopolis" programme (town Poushchino, Moscow region)", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 51.

³. M. SCHAEFER, "Soil and litter arthropods of green urban spaces", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 86.

⁴. HAMADA, *op. cit.*, pp. 17-28 ; HAMADA, H. SUZUKI, "A preliminary study of the comparison of bacterial counts in a small size secondary deciduous forest soil and urban soil", in : NUMATA (ed.), *Studies in structure and dynamics of urban ecosystems - 1975*, Chiba, 1976, pp. 129-134.

(tableau 9). Ce type de démarche a été reproduit par d'autres chercheurs, et l'on constate qu'il existe des caractéristiques communes aux divers sols urbains analysés.

Tableau 9. Caractéristiques des sols urbains de Tokyo, comparées à celles d'un sol supposé naturel.

	Yasakuni street, Fuchu			Waseda street, Nakano			Gakuen street, Kudan			Parc moy.
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
% eau ¹	7,98	8,49	8,96	2,85	4,24	3,98	5,13	5,17	5,30	11-13
% C	4,91	2,55	3,10	1,09	1,84	3,25	3,15	5,45	6,39	6,9-7,0
pH ²	6,60	5,40	6,20	7,20	6,20	5,80	7,25	7,20	7,02	4,6-5,5
P abs ³	1 690	1 701	1 875	833	1 094	1 088	2 085	1 550	1 612	2 947 ⁴

1- du sol séché à l'air

3- Coefficient d'absorption du phosphore, mg P₂O₅/100g

2- pH de l'eau

4- 3 257-2 637 mg P₂O₅/100g

On constate en outre, en ce qui concerne les sols urbains, une grande uniformité du pH dans le profil (mesures effectuées tout les dix centimètres jusqu'à un mètre de profondeur).

D'après : R. HAMADA, "Urban ecosystem and soil", in : M. NUMATA (ed.), *Fundamentals studies in the characteristics of urban ecosystems*, s. l., mars 1973, pp. 23, 24, 26.

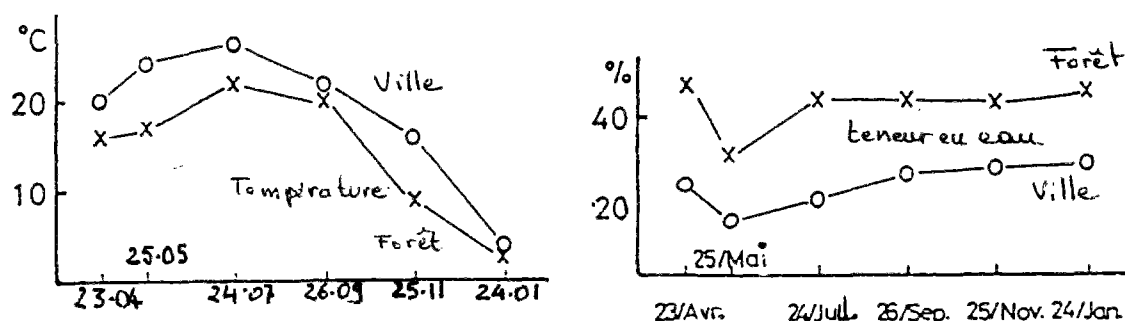


Figure 11. Variations saisonnières de la température et de la teneur en eau du sol.

Source : R. HAMADA, H. SUZUKI, "A preliminary study on the comparison of bacterial counts in a small size secondary deciduous forest soil and urban soil", in : M. NUMATA (ed.), *Studies in urban ecosystems-1975*, Chiba, mars 1976, p. 133.

La teneur en eau est plus faible que dans un écosystème naturel du fait de l'imperméabilisation de la surface, de l'évacuation rapide des eaux à l'égout, de la baisse du niveau des nappes. A Tokyo, les comparaisons entre le sol de la forêt de l'université et celui de Gakuen street effectuées d'avril à janvier (figure 11), ont montré que la

température du sol urbain restait toujours supérieure de quelques degrés à celle du sol naturel, l'humidité étant inférieure (15 à 30% pour le sol urbain, 30 à 45% pour le sol naturel), en outre, la pluie de 98 mm survenue trois jours avant le prélèvement de juillet n'a pas affecté la teneur en eau du sol urbain, alors qu'elle est sensible dans celle du sol naturel¹.

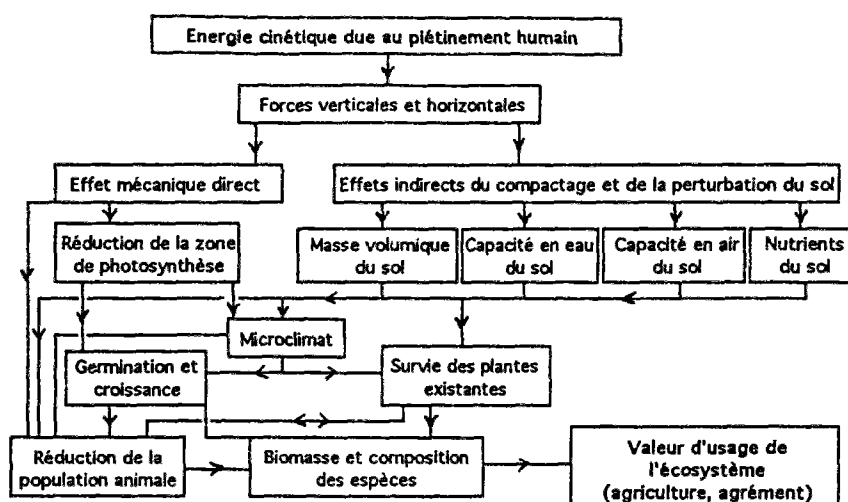


Figure 12. Les effets écologiques du piétinement.

D'après : M. J. LIDDLE, "A selective review of the ecological effects of human trampling of natural ecosystems", *Biological conservation* 7(1), 1975, p. 23.

Par ailleurs, que ce soit dans les zones imperméabilisées, qui doivent accueillir la circulation piétonnière et surtout automobile et diverses infrastructures, où le sol est mécaniquement compacté ou dans les espaces verts piétinés, la porosité est elle aussi toujours très faible. Les conséquences du piétinement et du compactage sont multiples² (figure 12). M. J. Liddle a fait un bilan des recherches existantes en ce qui concerne les zones rurales soumises à un forte fréquentation du public³. Ainsi, "les forces verticales appliquées sur le sol par un homme immobile peuvent dépasser 200 g/cm² [...] tandis que

¹. HAMADA, SUZUKI, *op. cit.*, p. 130.

². Voir aussi : I. GARAY, L. NATAF, "Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests", in : R. BORNKAMM, J. A. LEE, M. R. D. SEAWARD (eds.), *Urban ecology*, Oxford/Londres : Blackwell Scientific Publications, 1982, pp. 201-207 ; E. DUFFEY, "The effects of human trampling on the fauna of grassland litter", *Biological conservation* 7(4), 1975, pp. 255-274.

³. M. J. LIDDLE, "A selective review of the ecological effects of human trampling of natural ecosystems", *Biological conservation* 7(1), 1975, pp. 17-36.

les forces dynamiques excèdent 57 000 g/cm² et que les forces horizontales atteignent 32 % du poids du corps"¹. Le tassement induit est durable : des expériences ont montré qu'après quarante-huit passages sur un même sol et six mois de repos, l'épaisseur du sol était encore réduite de 15 %, tandis que 384 passages la diminuent de 55 %². La masse volumique du sol des allées et des pistes est généralement supérieure de 0,2 à 0,4 g/cm³ à celle du sol non-perturbé, et si elle est dans un premier temps corrélée linéairement et positivement avec le nombre de passages de piétons et de véhicules, elle atteint généralement un pallier.

Les effets du piétinement se font sentir en zone rurale, où la fréquentation humaine est intermittente, à plus forte raison en milieu urbain, où elle est incessante. L'autrichien Wilhelm Kühnelt le suggère partiellement :

"Initialement, il était strictement interdit de marcher sur le gazon des parcs de la ville de Vienne. L'interdiction a été levée il y a quelques années. Cette mesure [...] s'est avérée être une erreur pour ce qui concerne le sol. Le gazon ouest-européen résiste mieux au piétinement que le nôtre, soumis à un climat semi-continental. L'effet le plus évident du piétinement consiste en une réduction drastique de la porosité dans la couche de surface, ce qui diminue le nombre d'espèces et la composition de la communauté impliquées [...]. La réduction de la porosité affecte aussi la croissance des plantes en favorisant certaines espèces [...]"³

A terme, la végétation dépérit et seules demeurent les espèces les plus résistantes.

Si bien que capacités et teneurs en air et en eau, deux composantes fondamentales de la biologie du sol, sont généralement déficitaires dans les sols urbains, comme les matières organiques⁴. Les plantations d'alignement surgissent littéralement de l'asphalte ; mais c'est aussi vrai en ce qui concerne les espaces verts en général, car la litière n'est jamais laissée sur place, ce qui est d'une certaine façon compensé par l'emploi d'engrais.

¹. *Ibid.*, p. 23.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. W. KÜHNELT, "Characteristics and development of urban soil fauna", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 64. En France, le tassement piétonnier et l'imperméabilisation conséquente ont amené l'Office National des Forêts à chercher des solutions pour réduire l'afflux des citoyens dans les grandes forêts péri-urbaines comme celle de Fontainebleau où certains arbres centenaires risquaient de mourir.

⁴. Exception faite des cimetières. Les particularités des sols que l'on y rencontre ont conduit H. P. Blume ("Characteristics of urban soils", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 31) à proposer l'appellation de Nekrosol (voir en fin de chapitre).

Le pH des sols urbains est souvent supérieur à celui des sols naturels : c'est le cas à Tokyo (tableau 9), où le sol d'origine volcanique est naturellement acide alors que le sol urbain est dans presque tous les cas alcalin. Ici, c'est le facteur anthropique qu'il faut prendre en compte, et en particulier les matériaux de construction utilisés. En effet, une étude ultérieure menée sur la baie de Tokyo dans un secteur gagné sur la mer par un remblai de sable couvert d'une décharge de matériaux de construction a permis de comparer trois secteurs : le premier est constitué par la décharge recouverte d'herbe sauvage, le deuxième et le troisième sont des parcs, et le remblai anthropique est recouvert du même sol d'origine volcanique que celui que nous avons déjà évoqué. Les résultats en ce qui concerne le pH sont significatifs : un pH beaucoup plus élevé dans le secteur 1, que ce soit en surface ou en profondeur, tandis que dans les secteurs 2 et 3 le pH est plus faible, mais le sol demeure alcalin en profondeur¹ (tableau 10).

Tableau 10. Etude d'un sol de remblai anthropique dans la baie de Tokyo.

	Secteur 1		Secteur 2		Secteur 3	
	CS	CI	CS	CI	CS	CI
G/L/S %	30/20/50	20/30/50	40/40/50	30/50/20	20/45/35	30/25/45
Structure	pulvérul.	sans	granulaire	sans	granulaire	sans
Graviers %	15-40	15-40	<30	<20	<25	20-55
pH (H ₂ O)	8,0-8,5	7,5-8,5	6,0-7,0	6,0-7,0	6,0-7,3	8,0-8,5
Carbone %	0,3-2,5	0,3-2,5	1,7-8,4	1,4-8,0	1,0-3,9	1,0-2,5
CEC meq/l	15-25	15-20	25-33	25-32	20-30	15-20
Ca éch. meq/l	20-50	30-50	10-20	10-30	10-30	30-50

CS : couche superficielle

CI : couche inférieure

G/L/S : Gaz/Liquide/Solide

D'après : K. SAKAGAMI, HAMADA, "Soil of reclaimed land along Tokyo bay area. A case of construction discharge", pp. 18-22, in : NUMATA (ed.), *Integrated ecological studies in bay-coast cities*, Chiba, mars 1979, vol. 1, p. 21.

De même, R. P. Gemmel montre que certains déchets industriels induisent des sols calcaires² (tableau 11) ; dans le cas des déchets du procédé Leblanc (fabrication

¹. K. SAKAGAMI, HAMADA, "Soil of reclaimed land along Tokyo bay area. A case of construction discharge", pp. 18-22, in : NUMATA (ed.), *Integrated ecological studies in bay-coast cities*, Chiba, mars 1979, vol. 1, pp. 18-22.

². Voir aussi : J. A. LEE, B. GREENWOOD, "The colonisation by plants of calcareous wastes from the salt and alkali industry in Cheshire, England", *Biological conservation* 10(2), 1976, pp. 131-149.

artificielle de la soude), après soixante dix ans de colonisation par la végétation, le pH est tombé à 7,7 en surface (0-5 cm), augmentant jusqu'à 12,6 au-delà de 80 cm de profondeur¹. L'auteur montre en outre que la végétation qui s'y développe est différente de celle que l'on trouve sur les cendres volantes : absence d'espèces calcicoles et colonisation plus rapide dans ce second cas ; en effet, les caractéristiques chimiques sont différentes, et certaines conditions locales entrent en jeu². Kühnelt quant à lui souligne l'importance du type de matériau utilisé dans le pavage des rues : "sur les pierres calcaires, les émissions de dioxyde de soufre [...] sont au moins partiellement neutralisées, une condition qui est plus favorable à la vie animale que les conditions acides qui prévalent sur les pavés de granit de Vienne."³

Tableau 11. pH de différents déchets industriels rencontrés à Manchester.

Matériau	pH initial
Déchets alcalins de la production de carbonate de sodium par le procédé Leblanc*	jusqu'à 12,7
Laitier de haut fourneau issu de l'extraction du minerai de fer	— 10,6
Cendres volantes des centrales électriques à charbon	— 9,5
Carbonate de calcium de l'industrie chimique	— 8,6
Déchets des houillères	— 8,0
Décombres	— 7,8

* Une des premières pollutions atmosphérique repérée au début du XIXe siècle vient des fabriques de soude installées à Montpellier par Chaptal qui détruisaient les forêts alentours. J. DUTENS, *Histoire de la navigation intérieure de la France avec une exposition des canaux à entreprendre pour en compléter le système*, Paris, 1829, p. 227.

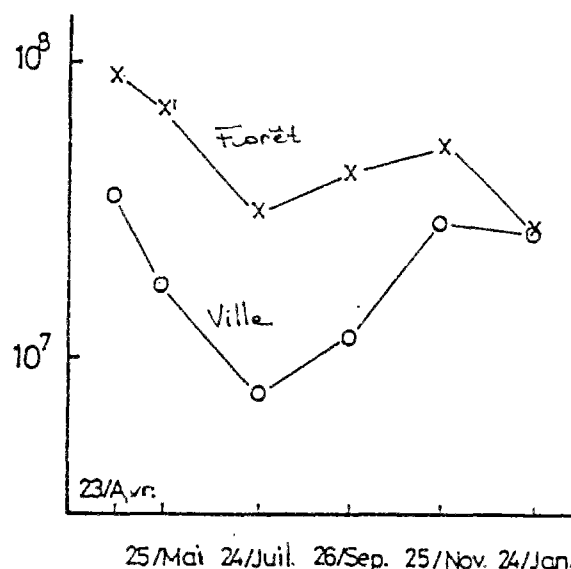
D'après : R. P. GEMMEL, "The origin and importance of industrial habitats", in : R. BORNKAMM, J. A. LEE, M. R. D. SEAWARD (eds.), *Urban ecology*, actes du 2e European ecological symposium, Berlin, sept. 1980, Oxford : Blackwell scientific publications, 1982, p. 34.

¹. R. P. GEMMEL, "The origin and importance of industrial habitats", in : BORNKAMM, LEE, SEAWARD (eds.), *op. cit.*, pp. 34-35. L'auteur ajoute que le sol est en outre déficient en azote et en phosphore.

². *Ibid.*, p. 36. Gemmel examine ensuite la flore développée dans les excavations industrielles, qui se rapproche généralement de celle que l'on rencontre dans les habitats naturels.

³. KÜHNELT, *op. cit.*, pp. 65-66.

Par ailleurs, si le nombre de bactéries totales semble inférieur dans le sol urbain (figure 13), la composition varie avec l'acidité et la teneur en matière organique, comme l'ont montré Hamada et Suzuki à Tokyo. Mais ils insistent sur la prudence à adopter à l'égard des résultats d'analyse quand les rapports des mesures sont inférieurs à dix¹.



Le 24 janvier, on constate que les deux courbes se rejoignent, ce qui correspond à la date à laquelle la température du sol est descendue à 3°C.

Figure 13. Variations saisonnières du nombre de bactéries totales.

Source : R. HAMADA, H. SUZUKI, "A preliminary study on the comparison of bacterial counts in a small size secondary deciduous forest soil and urban soil", in : M. NUMATA (ed.), *Studies in urban ecosystems-1975*, Chiba, mars 1976, p. 131.

Enfin, les sols urbains contiennent de nombreux produits polluants voire biocides. Les métaux y sont abondants, comme le montre une étude américaine dans laquelle une zone verte exposée aux pollutions urbaines et industrielles depuis un siècle (à l'est de Chicago) a été comparée à un écosystème rural, dans le but de quantifier d'une part les conséquences d'un siècle de contamination du sol et de la végétation dans la zone urbaine, d'autre part d'évaluer les apports et lessivages annuels actuels en matière de métaux, la zone rurale servant de point de référence². Les tableaux 12 et 13 synthétisent leurs

¹. HAMADA, SUZUKI, *op. cit.*, pp. 131-132, 134.

². G. R. PARKER, W. W. MAC FEE, J. M. KELLY, "Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana", *Journal of environment quality* 7(3), 1978, pp. 337-342. Voir aussi, en ce qui concerne le lien entre contamination des arbres et contamination du sol :

.../...

résultats, montrant à la fois les concentrations beaucoup plus fortes rencontrées en milieu urbain, et la très faible part des métaux lourds lessivés.

Tableau 12. Concentration de métaux lourds dans la litière et le sol.
comparaison d'un site urbain et d'un site rural.
(ppm)

	Dune				Zone humide			
	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu
litière (horizon O)	4,7 (1,2)	915,0 (95,5)	399,9 (71,8)	75,7 (9,9)	1,2 (1,1)	302,0 (63,5)	123,9 (110,0)	19,5 (19,5)
horizon A1 0-2,5 cm	10,4 (0,2)	2 456,0 (28,8)	462,8 (20,5)	119,4 (3,9)	15,9	2 919,0	628,6	184,0
horizon A1 2,5-14 cm	3,8 (0,1)	711,0 (13,0)	140,4 (5,9)	30,3 (2,2)	10,3 *(0,5)	1 978,0 *(19,0)	399,7 *(11,0)	116,4 *(6,7)
horizon B 14-25 cm	0,3 (0,1)	103,0 (10,3)	7,5 (3,5)	3,1 (1,9)	2,5	1 086,0	72,7	24,7

* Moyenne de l'horizon A1 (0-14 cm)

Le premier nombre est relatif à l'écosystème urbain, le second (entre parenthèse) à l'écosystème rural.
Les concentrations sont aussi supérieures dans les plantes, mais le sol (0-25 cm, litière non-comprise) contient 95% des métaux étudiés.

D'après : G. R. PARKER, W. W. MAC FEE, J. M. KELLY, "Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana", *Journal of environment quality* 7(3), 1978, pp. 339-340.

Tableau 13. Evaluation des entrées et sorties de métaux lourds. comparaison d'un site urbain et d'un site rural. observations de mai 1975 à avril 1976.
(g/ha/an)

	Entrées				Sorties			
	Cd	Zn	Pb	Cu	Cd	Zn	Pb	Cu
Urbain	8,2	983,7	814,8	164,5	1,2	150	11	65
Rural	(6,7)	(472)	(221)	(43)				

D'après : G. R. PARKER, W. W. MAC FEE, J. M. KELLY, "Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana", *Journal of environment quality* 7(3), 1978, pp. 339-340.

J. GRESZTA, "Accumulation of heavy metals by certain tree species", in : BORNKAMM, LEE, SEAWARD (eds.), *op. cit.*, pp. 161-165.

Le plomb, dont la présence est en grande partie imputable à la circulation automobile, a été étudié de façon plus précise. Pour évaluer l'impact du trafic sur sa concentration dans le sol, des chercheurs américains ont fait des mesures autour d'une autoroute (distance 8 à 50 mètres de la voie) pendant plusieurs années à compter de sa mise en service (1971-1977)¹. Ils ont montré que le plomb s'accumulait dans les dix premiers centimètres du sol ; dans cette zone, 95 à 98% du plomb est déposé à une distance de l'autoroute allant de 8 à 25 mètres (tableau 14). En outre, ils ont essayé de corréler la concentration en plomb avec le nombre de véhicules empruntant l'autoroute. Le taux moyen d'accumulation entre 8 et 25 mètres de part et d'autre de la voie est de 0,85 µg de plomb par gramme de sol et par million de véhicules non pourvus de pots d'échappement catalytiques. Les auteurs concluent en soulignant que le développement de cet appareillage ne peut avoir qu'un faible impact sur la concentration en plomb dans le sol dans la mesure où le trafic ne cesse d'augmenter dans le secteur d'étude. Plus récemment, les métaux rares comme le cadmium ou le mercure, largement utilisés dans les piles électriques légères et jetées dans les caniveaux après usage, ont augmenté la toxicité des eaux de percolation et par conséquent du sol.

Tableau 14. Accumulation de plomb dans le sol en fonction de la profondeur et de la distance à l'autoroute I-95 (zone ouest) à Beltsville, Maryland, Etats-Unis.

Distance m	Prof. cm	Pb µg/g	
		1971	1977
8	0-5	16,8	130
	5-10	11,2	28,0
	10-15	4,4	10,0
25	0-5	18,4	40,8
	5-10	18,4	21,6
	10-15	1,2	4,0
50	0-5	16,8	22,8
	5-10	16,4	20,0
	10-15	5,2	0,8

D'après : R. P. MILBERG, J. V. LAGERWERFF, D. L. BROWER, G. T. BIESDORF, "Soil lead accumulation alongside a newly constructed road", *Journal of environment quality* 9(1), 1980, p. 7.

¹. R. P. MILBERG, J. V. LAGERWERFF, D. L. BROWER, G. T. BIESDORF, "Soil lead accumulation alongside a newly constructed road", *Journal of environment quality* 9(1), 1980, pp. 6-8.

Les sels de déneigement (CaCl_2 et NaCl) sont quant à eux préjudiciables aux plantations d'alignement. Les ions Cl^- restent en solution et migrent généralement dans les couches profondes du sol, mais lorsqu'ils sont absorbés par les racines, ils s'accumulent dans les feuilles, paralysent la photosynthèse et provoquent des pertes en eau. En outre, les ions Na^+ s'accumulent dans le premiers centimètres du sol et sont absorbés par les colloïdes, se substituant aux ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ qui ne sont plus disponibles pour les végétaux ; ils rendent difficile l'absorption d'eau (augmentation de la pression osmotique de l'eau). Lorsque la teneur en Na^+ est supérieure à 15% des bases échangeables du sol, on assiste à une destruction de la structure du sol après dispersion des colloïdes¹.

¹. A. BORHIDI, G. BICZÓK, E. FARKAS, P. KLINCSEK, "Areas verdes en las ciudades, el efecto de su contaminación, su monitoreo y bioindicación, estudio del caso de Budapest", in : *Seminario internacional sobre uso, tratamiento y gestion del verde urbano*, op. cit., p. 56.

II.2.2. ETUDES DÉTAILLÉES

Au-delà de ces considérations très générales qui opposent urbain et rural, certains auteurs ont essayé de différencier les sols à l'intérieur même de la ville, ou de l'agglomération au sens large ; plusieurs découpages ont été proposés, avec plus ou moins de précision.

a) Sols naturels modifiés et sols anthropiques

Une première distinction oppose les sols naturels modifiés aux sols totalement anthropisés, partant du principe que le comportement des premiers sera beaucoup plus lié à leur histoire pré-urbaine et que les seconds peuvent être considérés comme des "sols artificiels immatures"¹. C'est cette distinction qui a été reprise dans les conclusions du groupe de travail de Berlin :

"Il est reconnu que la nature de la roche mère et des matériaux déposés par l'homme doit déterminer dans une large mesure le type de sol dans chaque zone urbaine et déjà deux catégories majeures peuvent être distinguées (hormis les surfaces imperméabilisées) :

- "(i) les **sols modifiés** avec un développement naturel ou dérivés d'un sol importé,
- "(ii) les **sols anthropiques** dérivés des matériaux technogènes (briques, ciment, déchets domestiques, vidanges, eaux usées)."²

En effet, cette distinction est faite par de nombreux participants, par exemple, Zheveleva, Ignatyeva et Kavtaradze dans leur analyse des sols de la ville de Poushchino.

Il est vrai que le cas de Poushchino est particulier : il s'agit d'une ville nouvelle créée au début des années soixante dans la région de Moscou afin d'accueillir un centre de recherche biologique, elle ne comporte aucune industrie. Depuis lors, elle constitue un observatoire en vraie grandeur de l'écosystème urbain (malgré le biais introduit par l'absence d'industrie), avec notamment des études de la flore et de la faune urbaine. Les sols rencontrés ne sont donc pas aussi tributaires de l'histoire urbaine que dans la majorité des villes, et l'on peut s'étonner que l'on ait choisi un tel site pour ce type de recherche.

Toutefois, on y distingue trois types de sol : naturels, semi-naturels et à profil perturbé³. Les premiers sont les sols gris forestiers rencontrés dans les parcs naturels. Les deuxièmes ont été mécaniquement aplanis avant d'être plantés ; la partie supérieure du

¹. HAMADA, *op. cit.*, p. 18.

². "Summary and conclusions", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 9.

³. ZHEVELEVA, IGNATYEVA et KAVTARADZE, *op. cit.*, p. 47.

profil (A1 et A1A2) est donc endommagée sur vingt à trente centimètres. Les troisièmes enfin, formés de fragments de divers horizons, principalement B et C, avec ou sans humus en surface, peuvent contenir des déchets ménagers ou des gravats ; l'horizon A0 ne dépasse pas deux centimètres¹. La figure 14 donne un aperçu des propriétés des sols rencontrés, ajoutons que le phosphore mobile est plus abondant dans les sols urbains (5 à 20 mg/100 g de sol) que dans ceux des forêts avoisinantes (4 à 8 mg/100 g), à l'inverse de la potasse (4,7 à 17 mg K₂O /100g dans les sols urbains, 14 à 19 mg/100 g dans les sols naturels)².

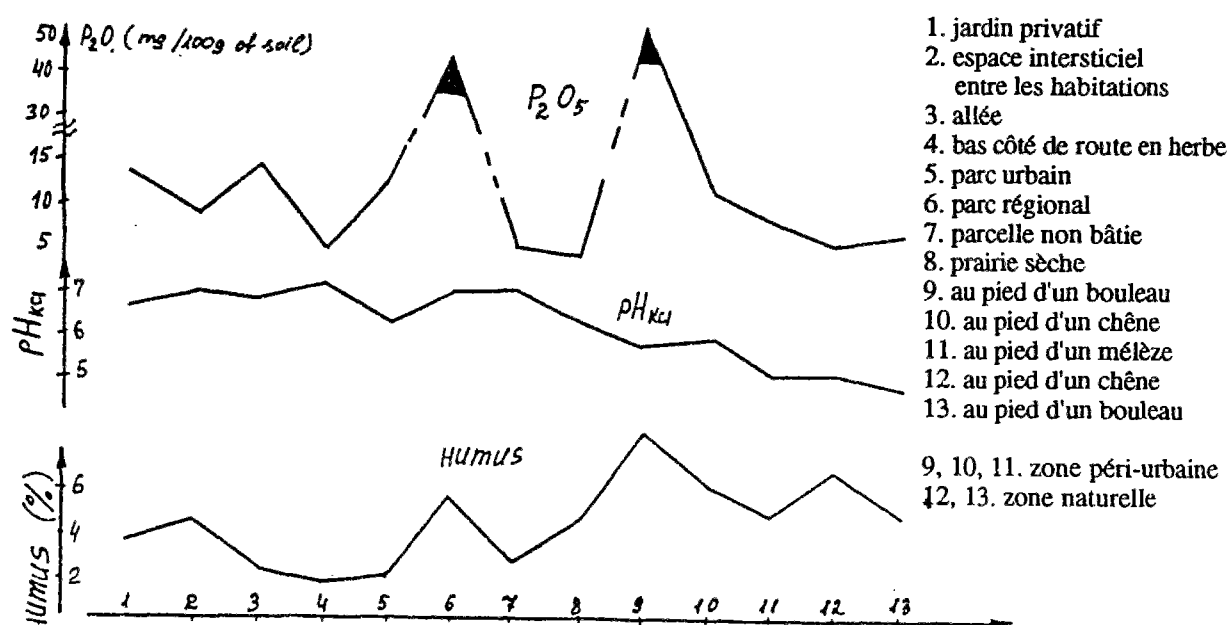


Figure 14. Propriétés des sols de Pouchchino
(valeurs moyennes dans les cinq premiers centimètres du sol).

Source : E. M. ZHEVELEVA, M. E. IGNATYeva, D. N. KAVTARADZE, "Soil and the problem of urban plant community formation in the "Ecopolis" programme (town Pouchchino, Moscow region)", in : G. WEIGMANN (ed.), *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*, Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere", oct. 1989, p. 50.

¹. Ibid., pp. 48-49.

². Ibid., p. 49.

b) Pression anthropique

L'analyse des sols naturels et semi-naturels en milieu urbain induit souvent la notion de pression anthropique ou de gradient d'urbanisation ("urbanization gradient"¹) que Teuvo M. Airola et Kenneth Buchholz, ont définie pour l'étude de six sites dans le New Jersey (figure 15). Tous ont le même sol brun acide, les mêmes exposition, altitude et végétation originelle ("predisturbance vegetation") ; mais leur taille, leur isolement, l'intensité et le type d'utilisation des alentours, l'impact humain direct qu'ils subissent sont différents.

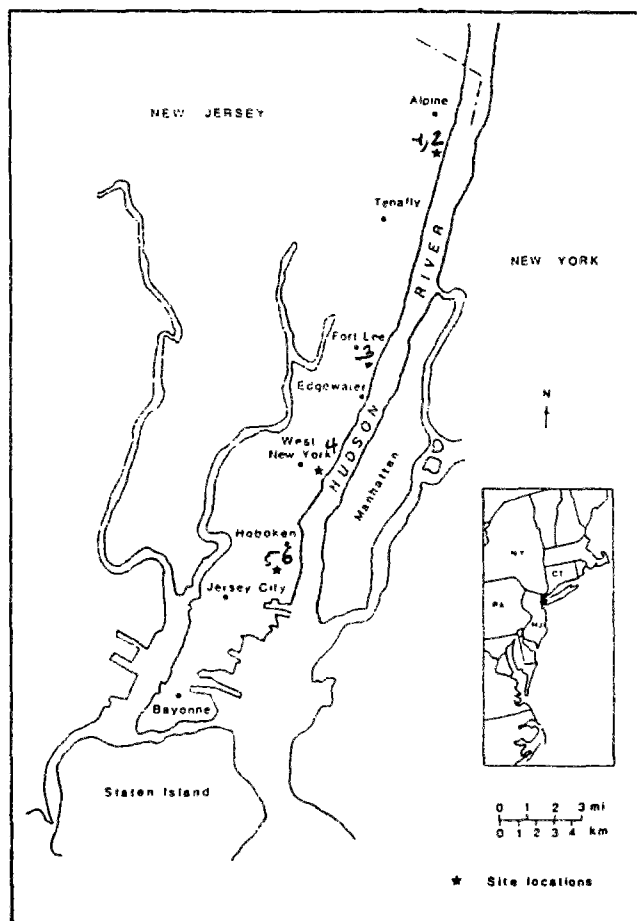


Figure 15. Localisation des sites d'étude du sol dans le New Jersey.

Source : T. M. AIROLA, K. BUCHHOLZ, "Species structure and soil characteristics of five urban sites along the New Jersey Palisades", *Urban ecology* 8(1-2), 1984, p. 152.

¹. T. M. AIROLA, K. BUCHHOLZ, "Species structure and soil characteristics of five urban sites along the New Jersey Palisades", *Urban ecology* 8(1-2), 1984, p. 155.

Tableau 15. Teneur en plomb et en sodium (ppm) dans les sols des différentes zones étudiées.

Site	1	2	3	4	5	6
Sodium	1 766	1 966	1 250	2 000	2 266	2 100
Plomb	17,3	66,3	87,9	62,1	215,9	195,8

D'après : T. M. AIROLA, K. BUCHHOLZ, "Species structure and soil characteristics of five urban sites along the New Jersey Palisades", *Urban ecology* 8(1-2), 1984, p. 159.

Globalement, on constate une dégradation de l'écosystème du nord vers le sud : dans les sites 1 et 2 on compte onze espèces d'arbres, deux seulement dans les sites 5 et 6 ; tandis que les teneurs en sodium et en plomb augmentent (figure 15, tableau 15).

Le gradient d'urbanisation est approché en tenant compte de divers paramètres — teneurs en sodium et en plomb, densité et diversité des espèces d'arbres, taux de population urbanisée, distance au site le plus préservé, surface du site, distance à la route la plus proche — et en examinant les coefficients de corrélation entre les valeurs observées ; les auteurs montrent ainsi qu'un faible gradient correspond à une pollution et un impact humain plus faibles, dans un site de taille plus importante, non isolé d'autres sites (colonisation possible pour les espèces végétales), ce qui conduit à une plus grande diversité d'espèces, un couvert végétal plus dense, une densité plus importante que pour un fort gradient¹.

Sans aller jusqu'à fournir une telle quantification, B. Pisarski, I. Pilipiuk et M. Sterzynska, dans leur étude de la faune du sol de Varsovie (les sols originels sont des sols bruns et des sols bruns lixivifiés²), distinguent forêt, prairie et espace vert urbain. Les résultats obtenus sont synthétisés dans la figure 16. En fait, il s'agit moins de différencier des écosystèmes comme on le ferait en milieu naturel que de distinguer des sites connaissant une pression anthropique croissante : la forêt témoigne d'un état naturel peu perturbé par rapport à la prairie (qui a subi le défrichement) et à l'espace vert urbain dans lequel le facteur anthropique est dominant³.

¹. *Ibid.*, pp. 160-161.

². B. PISARSKI, I. PILIPIUK, M. STERZYNSKA, "Structural changes of communities of the soil fauna in an urban environment : the example of Warsaw", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 72. Un sol est dit lixivié lorsque ses éléments solubles ont été entraînés hors du profil, il en résulte généralement une acidification.

³. *Ibid.*, p. 77.

De même, Kühnelt évoque-t-il implicitement cette pression anthropique lorsqu'il décrit la faune rencontrée dans le sol urbain de la forêt péri-urbaine aux surfaces imperméabilisées, en passant par les parcs dans lesquels la litière est enlevée, plus fréquentés que les forêts, les buissons isolés et les plantations d'alignement : il montre que plus le sol support s'éloigne de sa composition naturelle, moins la faune y est abondante ¹.

Enfin, il faut noter que l'étude des caractéristiques d'un espace vert, quelle que soit sa taille, ne suffit pas à comprendre son fonctionnement : il faut aussi étudier les liens entre les différents écosystèmes, si toutefois leur proximité permet des échanges entre eux².

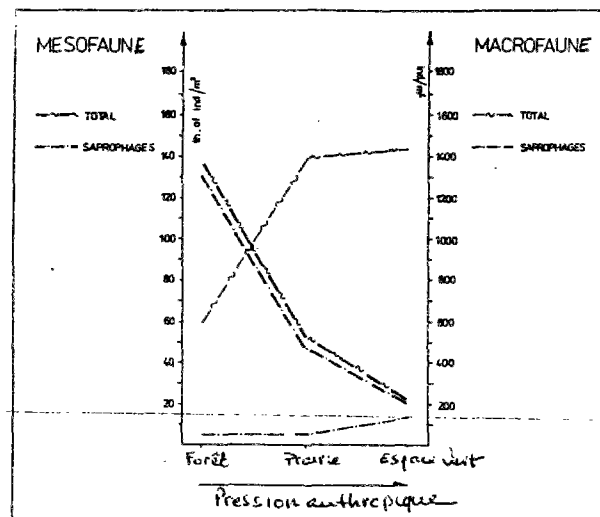


Figure 16. Macrofaune et mésofaune observées dans les sols de Varsovie.

Source : B. PISARSKI, I. PILIPIUK, M. STERZYNSKA, "Structural changes of communities of the soil fauna in an urban environment : the example of Warsaw", in : WEIGMANN (ed.), *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*, Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere", oct. 1989, p. 73.

¹. KÜHNELT, *op. cit.*, pp. 57-70.

². Les conclusions du groupe de travail de Berlin ("Summary and conclusions", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, p. 14) insistent d'ailleurs sur la nécessité de permettre ces échanges en évitant l'isolement des espaces verts les uns par rapport aux autres et par rapport aux zones péri-urbaines : les plantations d'alignement et les îlots de verdure, même de petite taille le permettent. Voir aussi : SCHAEFER, *op. cit.*, p. 94.

c) Usages du sol

Mais la notion de pression anthropique ne suffit pas : en effet, il est impossible de grouper les sols anthropiques, où la pression est maximale, en une seule et même catégorie ; nous avons vu qu'ils semblaient avoir des caractéristiques communes, mais l'étude des sols de Poushchino (figure 14) nous prouve qu'il existe des différences entre eux, tout comme le montre Kühnelt lorsqu'il évoque les matériaux utilisés pour le pavage des rues. Il semble donc qu'il soit nécessaire de définir la nature de la pression anthropique, ce qui conduit à analyser les usages urbains du sol.

L'expérience la plus achevée en la matière est celle d'H. P. Blume, qui a proposé une cartographie des sols du quartier de Berlin-Tegel¹, tissant le lien existant entre nature et usage. Le tableau 16 synthétise une partie de ses résultats : la différenciation entre sol naturel modifié (dans ce cas arenosol cambique) et sols anthropiques (remblais) est conservée.

Les sols les plus proche d'un état naturel sont rencontrés dans la forêt, avec un horizon A peu épais ; ils sont très acides : en 1950, le pH était toujours supérieur à 4,5, il est tombé à moins de 3,5 en raison du vieillissement des arbres et de la pollution. A proximité d'une route, le pH s'élève en présence du calcaire déposé lors de la construction, et les nutriments sont plus abondants en raison de la présence de déchets, tout comme le plomb, le cadmium — qui ne sont pas lessivés en raison du pH relativement élevé — et le sodium issu des sels de déneigement. Les parcs, dans les zones non-piétinées, présentent un horizon A épais, humifère et meuble à structure granulaire, enrichi en engrais organique, avec une capacité en eau élevée. Les cimetières (*Necrosols*) ont des caractéristiques similaires, mais le creusement des tombes à des profondeurs de 1,5 à 2,00 mètres donne un sol sans cohésion en profondeur ; la présence de substances organiques diversement décomposées (végétaux, bois, corps) produit un humus abondant jusqu'à une forte profondeur ; plus le cimetière est ancien, plus le sol est ameubli et plus l'humus augmente, accroissant la capacité en eau, l'arrosage induisant une forte teneur en eau ; l'activité des organismes est intense. La zone irriguée par les eaux usées (irrigation périodique depuis une centaine d'années) montre des niveaux d'azote, de phosphore et de métaux lourds importants, l'irrigation périodique conduisant à des variations considérables du potentiel d'oxydo-réduction, qui est parfois négatif en surface.

¹ H. P. BLUME, "Characteristics of urban soils", in : WEIGMANN (ed.), *op. cit.*, pp. 23-46.

Les sites rudéraux¹ (une des formes d'*Urbic Anthrosol*) sont constitués de gravats de la dernière guerre mondiale, riches en carbonates et en blocs de pierre (limitant le développement racinaire) ; la porosité élevée permet une bonne aération et un bon drainage, la capacité en eau étant supérieure à celle des sols forestiers, mais partiellement due à l'eau contenue dans les briques, inaccessible aux plantes. L'exhaussement, le drainage et l'évapotranspiration accrue en font des sols secs qui ont une forte teneur en éléments traces (Cu, Mn, Zn) : il n'y a donc pas de manque malgré le pH élevé (7-7,5) ; une baisse de celui-ci (par décalcification de la couche superficielle) peut entraîner une réaction toxique au cuivre et au zinc. Le ballast des voies ferrées et son environnement immédiat sont par nature très pierreux, avec de fortes teneurs carbonique (poussières de charbon) et métallique (Cu, Zn, Cd). Le site industriel étudié, constitué de scories, est très alcalin (pH supérieur à 11 en surface), comprimé, riche en métaux lourds (Pb, Cu, Zn). La décharge, située en terrain sableux recouvert de 1 mètre à 1,50 mètre de déchets ménagers puis de sable et de gravats, produit un sol noir en raison des sulfures de métaux développés par la décomposition anaérobie des matières organiques, la couche superficielle est tachetée par l'oxydation du fer. La pénétration des racines est difficile à cause des nombreux blocs et la capacité en eau peut être élevée, mais comme dans le cas des sites rudéraux, partiellement due à la présence de briques ; le sol est riche en nutriments, surtout azote organique, sa température est élevée du fait de l'activité microbienne. Le méthane paraît abondant et le potentiel d'oxydo-réduction faible (problème de la toxicité de certains métaux) : Blume propose l'appellation de *Methanosols* ou *Methane-Urbic Anthrosols*².

¹. *i. e.* les ruines, les friches urbaines, dans lesquelles se développe une végétation particulière.

². *Ibid.*, pp. 27-42.

Tableau 16. Propriétés des sols de Berlin suivant leurs usages.

16-1. Arenosols cambiques.

	Forêt de hêtres		Forêt, à 5 m d'une route		Parc		Cimetière		Irrigation par eaux usées	
texture	x"fmS		x'u'S/l'S		x"u'S		x"u'S		x'l'S	
profondeur cm	0-20	20-80	0-20	20-80	0-20	20-80	0-20	20-80	0-20	20-80
capa en eau, cm	13	24	20	67	42	55	55	92	21	58
pH CaCl ₂	3,2	3,5	4,7	4,2	5,7	5,0	6,0	6,5	5,0	5,3
Nt g/m ²	280	130	380	180	320	230	210	300	800	600
K _v g/m ²	74	270	61	220	79	520	180	500	79	270
P _v g/m ²	48	110	98	190	75	270	120	300	540	710
Mg _v g/m ²	64	240	140	450	93	480	190	890	170	590
Cu g/m ²	0,3	0,8			1,9	0,3	2,7	2,3	5,9	7,3
Cd g/m ²	0,009	0,023	0,061	0,083	0,066	0,056	0,20	1,7	2,2	4,5
Pb g/m ²	3,4	0,8	26	24	5,1	1,3	4,4	3,9	78	61
Zn g/m ²	0,8	1,0			6,0	2,1	6,3	16	35	53

16-2. Remblais.

	Site rudéral (gravats)		Ballast de voie ferrée		Site industriel		Décharge	
texture	x ¹ u'S		xgS/fS		xg ² S/x'fS		x ¹ fmS	
profondeur cm	0-20	20-80	0-20	20-80	0-20	20-80	0-20	20-80
capa en eau, cm	75 ³	94 ³	10	45	11	43	42 ³	114 ³
pH CaCl ₂	7,2	7,5	5-7,2	7,2	11-7,0	7,2	7	7,2
Nt g/m ²	190	86	130	110	8	130	180	490
K _v g/m ²	110	410	170	650	86	500	180	790
P _v g/m ²	48	150	110	360	280	250	50	200
Mg _v g/m ²	180	680	260	850	2 400	650	220	1 100
Cu g/m ²			3,7	0,3	4,3	41	1,1	3,0
Cd g/m ²	0,023	0,043	0,80	1,4	0,082	3,4	0,018	0,017
Pb g/m ²	21	30	1,1	1,1	9,4	17	2,2	8,7
Zn g/m ²			2,6	0,6	14	17	2,0	8,2

1- briques

2- scories

3- en partie par la porosité des briques

x : graviers et pierres
 S : sable
 u : limoneux
 l : loameux
 f : fin
 m : moyen
 g : grossier
 " : très faible
 ' : faible
 _ : élevé
 N_t : azote total
 K_v, P_v, Mg_v : extraction par HCl de K, P, Mg

D'après : H. P. BLUME, "Characteristics of urban soils", in : WEIGMANN (ed.), *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*, Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere", oct. 1989, pp. 29-30, 33.

II.3. CONCLUSION

Ces travaux appellent plusieurs remarques. Il faut d'abord constater que les pédologues ont quelques difficultés à définir le sol urbain dont la spécificité est difficilement admise. On peut y voir la marque d'un décalage entre les échelles temporelles : que représente l'histoire urbaine comparée à la durée de la pédogenèse (qui se chiffre en dizaine de milliers d'années) ? Il est aussi vrai que l'érosion joue chez les pédologues le même rôle que la subsidence chez les géologues : cette dégradation anthropique a mobilisé à juste titre beaucoup d'énergie mais fait obstacle à la compréhension de l'exhaussement. De même, la notion de fertilité ne peut-elle être abordée de la même façon en milieu agricole et en milieu urbain.

Par ailleurs, s'il est relativement aisé de caractériser la pression anthropique, qui est généralement considérée comme continue, donc produit des effets continus (réduction de la teneur en eau, en air, en matière organique), celle-ci ne peut prendre en compte l'hétérogène, la rupture. Or, comme l'a pressenti Blume, le sol urbain est une mosaïque dont les propriétés sont liées aux usages qui en sont faits. Néanmoins, Blume ne considère que l'espace plan, le zonage urbain, et non l'épaisseur de la pédosphère qui reflète aussi ses usages.

Enfin, et encore une fois, les questions sanitaires sont généralement absentes de ces travaux. Nous avons brièvement évoqué la présence de polluants, mais force est de constater qu'il n'existe pas d'épidémiologie du sol urbain. Pourtant, les risques, eux, existent, qu'ils soient dus aux matières organiques ou aux composés chimiques. Le cas tristement célèbre de Love Canal, quartier de la ville de Niagara Falls (Etats Unis), en est la preuve. Là, une société de produits chimiques a acheté un terrain sur lequel elle a entreposé, entre 1947 et 1952, 21 800 tonnes de produits ; elle céda le terrain en 1953, une école et des maisons individuelles y furent construites. En 1977, des pluies torrentielles font déborder le canal, exhumant certains composés chimiques parmi lesquels onze sont supposés cancérigènes. L'année suivante, un taux anormalement élevé de cancers (un rapport fédéral de 1980 évalue à une sur dix le nombre de personnes touchées), entraîne un premier exode ; seules les familles les plus modestes restent sur place. En 1980, les analyses de l'air prélevé dans la zone contaminée révèlent la présence dans celui-ci de quatre produits réputés cancérigènes ; le site est évacué à partir du mois de mai de la même année.

UNE RESSOURCE RARE

Si le sol apparaît aujourd'hui comme un enjeu, non seulement économique mais aussi mésologique, culturel et de service public, il faut bien reconnaître que les connaissances sont :

- partielles : il est rare qu'une ville dispose d'un plan complet et à jour de ses réseaux enterrés, ou d'une carte traduisant les potentialités archéologiques ;
- sectorielles : les réseaux d'eau et d'assainissement, qui posent les plus graves problèmes de vieillissement, sont la plupart du temps analysés en terme de fonctionnement hydraulique, sans prise en compte de la contrainte géotechnique ;
- conflictuelles : l'opposition entre les archéologues et les aménageurs a longtemps été dénoncée, elle est loin d'avoir disparu ; les arbres et leurs racines sont souvent incriminés par les gestionnaires de réseaux comme facteur de dégradation ;
- ou quasiment nulles : les pédologues ont axé leurs recherches sur le sol naturel ou agricole, les écologues, bien que portant un intérêt toujours plus grand au milieu urbain, n'ont pas jusqu'à une date récente, cherché à définir le sol comme un élément du biotope de la cité, ni à analyser sa biocénose.

Nous n'avons pas traité ici de l'archéologie urbaine, discipline d'une émergence récente. En effet, l'archéologie ne se dit pas urbaine parce qu'elle opère dans un site aujourd'hui urbanisé, mais parce qu'elle "se définit par son objet : étude conjointe de la ville dans ses aspects physiques, de la communauté des habitants dans la complexité de sa composition, de ses activités, de ses productions, pour suivre l'évolution du tissu urbain, du tissu social, et reconstruire la formation de la ville à travers les âges, de l'origine à l'époque moderne."¹

Née pour une part de l'évolution de l'archéologie générale qui "n'est plus seulement un discours sur les objets, mais une science de l'ensemble des témoignages matériels"², l'archéologie urbaine a été ressentie comme une nécessité lors des opérations de

¹. H. GALINIE (rapporteur), *Archéologie urbaine*, actes du colloque international de Tours, nov. 1980, Paris : Association pour les fouilles archéologiques nationales, 1982, p. 22.

². J. CHAPELOT, A. SCHNAPP, "L'érosion du passé", *L'Histoire* (26), 1980, p. 114.

rénovation en centres anciens dès les années soixante et dans la décennie qui a suivi. Ainsi sont venues à jour ces *archives du sol* dont on craint la disparition. Selon Olivier Meyer,

"Si un large consensus s'accorde, aujourd'hui, à garantir la survie de ces témoins monumentaux de notre histoire, [...] c'est en oubliant souvent que le monument historique prend ses racines dans un sous-sol archéologique dont il n'est que la partie émergée. Ce sous-sol ne bénéficie pas toujours de la même sollicitude ; il est d'autant plus volontiers ignoré que son évaluation est difficile."¹

Les opérations en centre urbain sont aujourd'hui de moindre importance qu'il y a dix ou vingt ans, mais n'ont pas disparu. De plus, il faut y ajouter la destruction du sol situé sous la voirie, avec la multiplication des réseaux enterrés. "La consommation d'espace souterrain par ces nouvelles formes d'utilisation n'est pas moins mutilante, aussi bien quantitativement que qualitativement, que les grandes opérations souterraines classiques liées à la rénovation ou à un grand parking public"², souligne Jean Chapelot. La nécessité d'une évaluation du patrimoine enfoui conduit dans certains cas à des tentatives de cartographie des gisements potentiels, comme c'est le cas à Londres³, Tours⁴, etc. De plus, le dialogue semble aujourd'hui possible, ou en voie de l'être, entre archéologues et aménageurs ou techniciens de la ville⁵.

Cependant, ces derniers ne semblent pas prêts à utiliser le savoir des archéologues afin de mieux comprendre le sol : l'interdisciplinarité n'est plus.

¹. O. MEYER, "Archéologie urbaine et rénovation aux abords de la Basilique de Saint-Denis", *Monuments historiques* (136), déc. 1984 -janv. 1985, p. 43.

². CHAPELOT, "L'intégration des données archéologiques dans la planification urbaine", in : *Archéologie urbaine*, op. cit., p. 146.

³. Cf. M. BIDDLE, D. HUDSON, C. HEIGHWAY, *The future of London's past* (...), Wocester : Rescues, 1973. La carte archéologique de Londres est parfois remise en question (M FLEURY, "Les relations entre les découvertes archéologiques et les grands travaux (de 1955 à 1988) : l'œuvre de la Commission du Vieux Paris", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (23), 1988, p. 44.)

⁴. Cf. H. GALINIE, B. RANDOIN, *Les archives du sol à Tours : survie et savoir de l'archéologie de la ville*, Tours : Laboratoire d'Archéologie Urbaine, 1979.

⁵. Comme en témoignent les articles qui paraissent dans la presse spécialisée, par exemple dans un récent numéro de *T.P.E. Techniques et politiques d'équipement*, revue des ingénieurs des travaux publics de l'état. "Routes et archéologie", *T.P.E. Techniques et politiques d'équipement* (95), févr.-mars 1989, pp. 4-29.

DEUXIEME PARTIE :
LA VIE DU SOL

CHAPITRE I : LA NATURE DU SOL (XVIII^E SIECLE)

De la naissance de l'hygiénisme au XVIII^e siècle, la littérature a principalement retenu l'émergence des doctrines d'aération et de ventilation, soulignant l'obsession de la libre circulation de l'air, qui revient en effet comme un *leitmotiv* dans les écrits des médecins et des scientifiques préoccupés de la salubrité et dont l'influence se fait encore sentir aujourd'hui — on pourrait même dire qu'elle connaît un second souffle¹.

Cependant, pour de nombreux scientifiques du siècle des Lumières — mais cet avis ne fait pas l'unanimité, nous tenterons de le démontrer —, une grande partie des exhalaisons qui souillent l'atmosphère est issue du sol : en 1786, l'abbé Pierre Bertholon publie un ouvrage intitulé *De la salubrité de l'air des villes, et en particulier des moyens de la procurer* ; or, à quoi ce texte est-il consacré ? A l'*art ténébreux de paver*². De nombreuses enquêtes vont être menées pour déterminer la nature pernicieuse de la terre, des lieux palustres, des fosses d'aisances, des cimetières, etc. Ces travaux immenses n'ont pas eu la suite que l'on aurait pu espérer, et ce pour plusieurs raisons :

- tant que l'air est considéré comme un élément unique, on peut difficilement isoler la part néfaste qui le constitue ; lorsque les gaz sont isolés, ils peuvent expliquer l'asphyxie, mais non nombre de maladies : tant que le miasme n'est pas devenu microbe, il est impossible d'analyser les mécanismes de la contagion. La circulation favorisée voire forcée de l'air, le dessèchement des marais et le pavage des rues sont les seuls moyens de corriger l'air, dont la corruption est regardée comme inévitable ;
- nous avons dit que la culpabilité du sol ne faisait pas l'unanimité. En effet, quoique nuancées et parfois mêlées, les doctrines iatrochimique et iatromécanique, élaborées au XVII^e siècle, continuent de s'opposer tout au long du XVIII^e, les excès de la première ayant pour partie conduit à l'élaboration de la seconde, selon laquelle, si un tel raccourci est permis, l'air humide et chaud rend mou et malade : seul son mouvement peut remédier à ce défaut ;

¹. Comme en témoignent les vertus attribuées à la végétation urbaine pour le rafraîchissement de l'air.

². P. BERTHOLON, *De la salubrité de l'air des villes, et en particulier des moyens de la procurer*, Montpellier, 1786, p. 69.

- enfin, les produits de la respiration, analysés par Lavoisier et considérés comme aussi dangereux — si ce n'est plus — que les exhalaisons du sol, vont éclipser celles-ci, en particulier en milieu urbain.

Nous ne réécrivons pas cette histoire du malsain, largement traitée dans un numéro de *XVIIIe siècle*¹, ni celle du miasme, débattue par Alain Corbin². Cependant, ces travaux se placent avant tout sur le plan de l'histoire des mentalités : "mythologies prépastoriennes"³ de Corbin, "rationalité technique" autant qu'"essai de dérober l'angoisse de la mort", selon Jacques Guillerme⁴.

Nous tenterons, quant à nous, de nous centrer sur notre objet d'étude, le sol urbain, en montrant que les savoirs accumulés, si grands soient-ils, n'ont pu que conduire à cette ville imperméable et abiotique dont nous connaissons la surface mais pas les entrailles.

Pourtant, et c'est aussi un apport du XVIIIe siècle, le sol est aussi analysé en coupe : on soupçonne l'existence de nappes, on recherche les effets de l'exhaussement urbain, on met au point les premiers instruments cartographiques de maîtrise de la géographie urbaine, enfin, on tente de saisir la nature physique de la terre.

¹. "Le sain et le malsain eu 18e siècle", *XVIIIe siècle* 9, 1977, pp. 15-214.

². A. CORBIN, *Le miasme et la jonquille : l'odorat et l'imaginaire social. XVIIIe-XIXe siècles*, 2e éd. [1ère éd. 1982], Paris : Flammarion (coll. "Champs"), 1986.

³. *Ibid.*, p. 22.

⁴. J. GUILLERME, "La malsain et l'économie de la nature", *XVIIIe siècle* 9, 1977, p. 72.

I.1. LA TERRE VIVANTE

I.1.1. LE SOL MÉPHITIQUE

"Nous nous sommes représenté des ouvriers courbés sur leurs instruments vers le sol suspect qu'ils sont obligés de fouiller, recevant de la craie même l'influence de son acide, joint à l'air vicié que répandent la nuit, & sur-tout le matin, dans l'ombre & au brouillard, tous les végétaux encore dénués de feuilles capables de corriger ces effluves."

CHAMSERU, "Recherches sur la nyctalopie (...)", *M.S.R.M.*, 1786, p. 169.

a) *Les exhalaisons de la terre*

Le XVIIIe siècle n'a pas inventé les exhalaisons du sol, ce concept "lourd de charge affective", cette "peur millénaire"¹, que l'on doit sans conteste associer à la naissance du Purgatoire décrite par Jacques Le Goff². En termes d'analyse des phénomènes observés, le XVIIIe siècle, au moins jusqu'aux travaux de Priestley et Lavoisier, se situe dans la continuité du siècle précédent. Les abondantes références à Becher³ et à Lancisi⁴ en témoignent, comme, d'un point de vue plus général, l'enracinement des théories médicales antérieures : iatrochimie héritée de Paracelse, iatromécanique — dont les racines "se tirent des perspectives ouvertes par les mécaniques de Galilée et de Descartes en ce qui a trait à l'explication des mouvements vitaux [...], l'iatromécanisme n'a cessé d'évoluer vers le repérage de la complexité interne des structures anatomiques et par suite, vers l'hypothèse combinatoire des «petites machines emboîtées»"⁵ —, puis vitalisme —

1. J. EHRARD, *L'idée de nature en France dans la première moitié du XVIIIe siècle*, Paris : S.E.V.P.N., 1963, vol. 2, p. 701.

2. J. LE GOFF, *Naissance du Purgatoire*, Paris : Gallimard, 1981.

3. G. M. LANCISI, *De Noxiis paludum effluviis (...)*, Rome, 1717.

4. J. J. BECHER, *Actorum laboratorii chymici Monacensis, seu Physica subterraneae libri duo*, Francfort, 1669, et sa deuxième édition considérablement augmentée de Francfort, 1681.

5. F. DUCHESNAU, *La physiologie au siècle des Lumières : empirisme, modèles et théories*, La Haye : Martinus Nijhoff Publications, 1982, p. 1.

"défi nouveau qui surgit des apories du mécanisme"¹ et qui renouvelle en quelque sorte l'iatrochimie : François Duchesneau a analysé ces tendances, leurs oppositions et interactions, le "passage des théories de l'être vivant à une théorie physiologique"² au siècle des Lumières. En ce qui concerne la chimie, le trouble n'est pas moins grand :

"vers le milieu du XVII^e siècle, la science chimique ne comportait aucune doctrine établie à laquelle le savant, sans discussion aucune, accordait son adhésion ; le chimiste ne se proposait pas alors de rectifier sur quelque point ou de modifier légèrement un corps de doctrine admis par tous ; bien souvent il affectait d'ignorer les travaux de ses prédécesseurs ; même s'il se montrait respectueux de quelque tradition ancienne, il lui fallait reprendre pour son propre compte la justification de cette théorie ; l'antiquité d'une opinion n'était plus une autorité qui fortifiât son consentement et l'esprit de chacun était juge en dernier ressort de l'œuvre de l'humanité !" ³

écrit Hélène Metzger. Au XVIII^e siècle, les comportements sont parfois similaires, et si certains essayent de synthétiser les travaux de leurs contemporains ou de leurs prédécesseurs, ils tombent dans la contradiction la plus totale.

La peste propagée depuis Marseille, de 1720 à 1722⁴, donna lieu à de nombreuses hypothèses quant aux causes, à la propagation, la prévention, la cure d'"une maladie qui ne présente que des objets de terreur & de désespoir"⁵ ; Jean-Baptiste Sénac les réunit dans un traité où il discute les origines attribuées à la peste : divines, cosmologiques, climatiques — avec Hippocrate et Galien —, mais son opinion est faite : "on peut donc conclure que la chaleur & la sécheresse ne produisent pas la peste par elles-mêmes"⁶ ; en ce qui concerne les vents,

"il faut que des causes étrangères les rendent mortels. Or ces causes ne peuvent être que des vapeurs élevées du sein de la terre [...].

¹. *Ibid.*, p. 1.

². *Ibid.*, p. XIII.

³. H. METZGER, *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e siècle à la fin du XVIII^e siècle*, nouveau tirage [1^{ère} éd. 1923], Paris : Librairie scientifique et technique Albert Blanchard, 1969, p. 25.

⁴. Elle fait 50 000 morts à Marseille (qui compte environ 100 000 habitants) de juin à novembre 1720. F. LEBRUN, "Le temps de la santé publique ?", in : J. DELUMEAU, Y. LEQUIN (eds.), *Les malheurs des temps : histoire des fléaux et des calamités en France*, Paris : Larousse, 1987, p. 354.

⁵. J. B. SENAC, *Traité des causes, des accidens, et de la cure de la peste (...)*, Paris, 1744, 1^{ère} partie, p. 2.

⁶. SENAC, *op. cit.*, 1^{ère} partie, p. 56.

"Le sein de la terre est plein de causes mortelles, des agents secrets les préparent dans des lieux souterrains. Mais les matières qui les rendent si dangereuses nous sont inconnues ; nous ne connaissons que leurs ravages. De ces réservoirs où le temps les a formées, elles se répandent sur la surface de la terre, elles s'exhalent par des soupireaux qu'ouvrent des tempêtes, ou des tremblemens de terre ; les hommes eux-mêmes leur creusent souvent des issues : mêlées avec l'air, elles l'empoisonnent, les animaux périssent s'ils les respirent."¹

D'ailleurs, "Les tremblemens de terre nous assurent de l'existence de ces causes & de leurs effets, le bouleversement qu'ils ont produit en divers lieux a bouleversé les corps ; souvent la peste a succédé à leurs secousses."²

Comme l'air est un élément simple, sa corruption provient nécessairement d'une cause externe, dans le cas de la peste, du sol. Mais :

"quelle est la nature des corps qui empoisonnent l'air durant la peste ? sont-ils sulphureux ou salins, sont-ils composés de principes connus ?

"La recherche de ces principes sera toujours une recherche inutile, l'expérience ne peut déterminer la nature des corps dont l'air est chargé. La seule ressource qui reste est donc l'imagination, ressource vaine & erronée, qui avilit les Physiciens"³.

Plus loin, Sénac évoque "le vuide de cette Physique qui a pour base des hypothèses"⁴. Le médecin doit donc en rester aux faits, comme le célèbre Chirac lors des graves fièvres épidémiques de Rochefort : "il en examina la nature, non sur des livres plein d'incertitudes, mais dans les cadavres, qui sont les seuls maîtres dont les Médecins doivent rechercher les leçons."⁵ On ne sait en effet rien de cette peste : "Nous sommes donc réduits à combattre les effets, à chercher des ressources dans l'analogie"⁶. Réticence du médecin qui doit cependant bien s'avouer ignorant des mécanismes de la maladie.

Jean Ehrard a montré, au sujet de la peste, l'opposition existant entre contagionistes — dont les théories souffrent d'un manque de scientificité — et anti-contagionistes — proches du pouvoir. Mais "adversaires et partisans de la contagion

¹. *Ibid.*, 1ère partie, pp. 58-59.

². *Ibid.*, 1ère partie, p. 61.

³. *Ibid.*, 1ère partie, p. 63.

⁴. *Ibid.*, 1ère partie, p. 66.

⁵. *Ibid.*, 1ère partie, p. 68.

⁶. *Ibid.*, 1ère partie, p. 74.

admettent en général comme une vérité d'expérience que des exhalaisons terrestres peuvent corrompre l'air de certaines régions"¹.

Corbin s'est rangé à l'opinion d'Ehrard, qui a selon lui "montré combien l'ancienne croyance aux émanations telluriques hantait encore le discours scientifique durant la première partie du XVIIIe siècle"², soulignant le déplacement de préoccupation vers l'air, comme J. Guillerme qui observe un glissement de la littérature médico-physiologique dans la deuxième moitié du XVIIIe siècle : "si elle commence par décrire l'atmosphère comme une simple citerne d'émanations, d'effluves et de miasmes, elle la montre ensuite comme un vaste laboratoire de transformation où les matières de l'air ont partie de plus en plus liée avec le chimisme des vivants."³

Mais il nous semble d'une part qu'il ne faut pas négliger, dans l'histoire de la médecine, le discrédit subi par les iatrochimistes au XVIIIe siècle et la réserve de certains médecins vis-à-vis des vertus de la chimie appliquée à la médecine. L'article "Médecine" de l'*Encyclopédie* est à ce titre révélateur : suite aux travaux de Paracelse, de Jean-Baptiste Van Helmont et de François Deleboë (dit Sylvius) aux XVIe et XVIIe siècles, "Tout le monde se tint pour convaincu que la nature opère en chimiste ; que la vie de l'homme est son ouvrage ; que les parties du corps sont ses instrumens ; en un mot qu'elle produit par des voies purement chimiques tout ce que la variété infinie des mouvemens fait éclore dans le corps humain"⁴, écrit de Jaucourt, vilipendant "ce système extravagant"⁵. D'autre part les émanations telluriques — ou plus modestement les exhalaisons du sol — ne quittent jamais vraiment la scène scientifique tout au long du XVIIIe — voire du XIXe — siècle⁶. L'*Essai sur les maladies des artisans* en témoigne : écrit par Bernardino Ramazzini en 1713, il n'est traduit (et annoté) par Fourcroy qu'en 1777. Or, que nous dit le premier ? "Les Mineurs qui, dans l'énorme profondeur où ils travaillent, entretiennent, pour ainsi dire, un commerce avec les enfers, nous fournissent

¹. EHRARD, "La peste et l'idée de contagion", *A.E.S.C.*, 1957, p. 56.

². CORBIN, *op. cit.*, p. 25.

³. J. GUILLERME, "La malsain et l'économie de la nature", *op. cit.*, pp. 67-68.

⁴. *Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, t. X, Neuchâtel, 1765, art. "Médecine".

⁵. *Ibid.*

⁶. Tout au plus, et ce n'est pas peu, cesse-t-on de les associer à la génération de la terre, qui vieillit beaucoup à la fin du XVIIIe siècle (*cf. infra*, § I.2.2 : "La figure de la ville").

un exemple frappant des vapeurs mortelles & empestées qui s'exhalent des filons métalliques."¹ Ce n'est pas tout :

"Il y a encore, dans les mines, des maux beaucoup plus terribles que ceux-là : ce sont des pestes animées, qui tourmentent & font périr les misérables mineurs, de petits insectes, assez semblables à des araignées [...] Il y a aussi des esprits, des spectres qui épouvantent & attaquent les Ouvriers, & qui au rapport d'Agricole, ne sont mis en fuite que par des prières & par des jeûnes. [...] J'ai cru d'abord très-fabuleux ce qu'on racontait de ces esprits habitans dans les mines ; mais un habile Métallurgiste [...] m'a assuré que, dans celles de Hanovre [...] il n'étoit pas rare de voir des Mineurs frappés de ces esprits, [...] mourir deux ou trois jours après cet accident, ou guérir facilement, s'ils sont assez heureux pour vivre au-delà de ce terme."²

Fourcroy ne met pas en doute ces vues sur les exhalaisons, bien qu'il conteste l'existence des démons : "il est étonnant qu'un Médecin, aussi savant que Ramazzini l'étoit, veuille expliquer un phénomène auquel un Physicien ne peut pas croire"³. En outre, le méphitisme qui servira dans les dernières décennies du XVIII^e siècle à désigner tout ce qui est malsain (méphitisme des murs, des fosses d'aisances, des marais, etc.) tient d'abord du sol dont il désigne les exhalaisons minérales⁴.

La multiplicité des analyses offertes par le siècle des Lumières transparaît dans l'ouvrage du médecin — issu de l'école de Montpellier⁵ — et naturaliste François Boissier de Sauvages, consacré, il est vrai, à l'air⁶, mais celui-ci n'est-il pas le médium par lequel la terre communique ses exhalaisons pernicieuses à l'homme, puisqu'il "s'insinue dans nos corps par toutes les ouvertures qui lui sont présentées"⁷ ? L'ouvrage est structuré en trois parties, qui correspondent à autant de théories chimiques ou médicales ; d'abord on examine l'"action de l'air en masse sur le corps humain"⁸, c'est-à-dire sa pression et son impulsion (vents), puis "selon les petites parties dont il est

¹. B. RAMAZZINI, *Essai sur les maladies des artisans*, trad. du latin par Fourcroy [de l'éd. de Padoue, 1713], Paris, 1777, p. 2.

². *Ibid.*, pp. 16-17.

³. *Ibid.*, p. 140.

⁴. *Encyclopédie (...)*, t. X, *op. cit.*, art. "Mephitis".

⁵. Il soutient sa thèse en 1726 sur le thème : *L'amour peut-il être guéri par les plantes ?*

⁶. F. BOISSIER de SAUVAGES, *Dissertation où l'on recherche comment l'air, suivant ses différentes qualités, agit sur le corps humain (...)*, Bordeaux, 1754.

⁷. *Ibid.*, p. 4.

⁸. *Ibid.*, pp. 5-18.

composé"¹. En effet, "l'Air qui nous environne est de deux sortes, ou bien il est *pur*, & n'est censé composé que de molécules à peu près Homogènes, ou bien il est *mélangé* [...] : si les molécules Hétérogènes dont il est chargé, sont celles du feu Elémentaire ou celles de l'Eau, on l'appelle *chaud* ou *froid*, *sec* ou *humide*, mais on ne le regarde pas comme *impur*"² : le feu et l'eau participent de l'air. Mais il existe aussi un air *impur* :

"Les émanations salines, sulphureuses & autres, forment des exhalaisons, des vapeurs & des fumées qui, à proprement parler ne sont pas de l'Air, n'en ayant pas les propriétés ; mais s'y trouvent mêlées, & en altèrent les qualités³ : les Volcans donnent des exhalaisons sulphureuses & ignées, mêlées de cendres ; les eaux, les terres, les végétaux, les animaux donnent des exhalaisons humides qui sont souvent funestes à la santé ; les cheminées, fourneaux, &c. fournissent des fumées ou exhalaisons salines, chaudes & humides dont les qualités varient selon les matières exhalées."⁴

Ces impuretés ne remettent pas en question l'unité de l'air, qui demeure un tout. Il est néanmoins "composé de petites sphères"⁵ ; les molécules étrangères, si elles sont suffisamment petites, peuvent prendre place dans les interstices de ces sphères, qui représentent $\frac{10}{11}$ de leur volume⁶.

Les exhalaisons de la terre sont, elles, étroitement associées à l'humidité :

"De toute la surface de la Terre, il s'élève par l'action de la chaleur souterraine [...] une vapeur plus ou moins abondante, plus dense que l'Air qui se répand quand rien ne l'arrête & qui retombe le soir en forme de rosée ou de *serein* [...] ; quand la chaleur de l'air qui la tenoit divisée vient à manquer, les gouttelettes se rapprochent & forment des gouttes que l'Air ne peut plus soutenir ; cette vapeur est assez âcre en certain Pays pour picoter les yeux & causer des Ophthalmies [...]. Elle a fourni aux Chymistes un sel extrêmement actif que Sennert a cru ammoniacal, mais qui doit varier selon les Pays. Il tombe, selon l'estimation de Mr.

1. *Ibid.*, pp. 19-39.

2. *Ibid.*, p. 19.

3. "Les qualités de l'Air sont actives ou passives, selon notre façon de les considérer comme le principe ou comme l'instrument des effets que nous lui attribuons. Les premières s'appellent des *Vertus* ou facultés, telle que l'Elasticité, la Gravité, l'Adhésion, l'Electricité, la Force mouvante, &c. Les secondes s'appellent des *Propriétés*, telles que la Divisibilité, la Compressibilité, l'Inertie, la Fluidité, &c." *Ibid.*, p. 4.

4. *Ibid.*, p. 40.

5. *Ibid.*, *loc. cit.*

6. *Ibid.*, p. 41.

Muschembroeck, 4. liv. 6. onces de cette vapeur sur chaque pied carré par année, & environ 16. pouces de hauteur sur toute la Terre [...].

"Cette vapeur est fournie par la transpiration de la Terre, & par celle des Arbres qui est plus travaillée, & plus prompte à se gâter [...] ; aussi est-elle plus abondante dans les lieux plantés d'Arbres, ce qui rend mal-saines les Habitations trop proches des Forêts."¹

Nuisibles, elles peuvent former "des nuées que nous pouvons croire sulphureuses ou salines"², et sont particulièrement abondantes dans les régions minières.

La condensation de cette vapeur dans un lieu fermé — cave, tombeau, citerne — est bien pire. Elle "y acquiert alors tant d'âcreté, que c'est le poison le plus affreux qu'on puisse imaginer."³ Une minute suffit pour que cette *Pousse* ou *Moufette* entraîne la mort de tout être vivant. Prenant l'exemple d'un enterrement funeste à l'église Notre-Dame, Boissier de Sauvages conclut "on doit bien attribuer en partie la malignité des vapeurs de ces Tombeaux à l'exhalaison des Cadavres. Tout le sol étoit imbibé d'une liqueur jaune qui infectoit, de même que les Hommes & les Animaux qui l'avoient touchée"⁴.

La putréfaction se rencontre aussi dans les marais, "car quand les eaux baissent comme au Printemps, les poissons, les insectes & les plantes [...] venant à pourrir infectent l'air à trois lieues à la ronde"⁵.

Enfin,

"Dans les grandes Villes, sur tout si elles sont mal-propres, comme Madrid, il sort des exhalaisons sulphureuses qui noircissent bientôt les Galons d'or & d'argent ; mais ce qu'il y a de pis, si ces Villes ne sont pas bien aérées, ou exposées au vent, il se répand une Atmosphère de la respiration des Hommes & des Animaux qui rend l'Air malsain. L'homme mange environ cinq livres par jour, ces cinq livres se changent toutes en vingt-quatre heures en excréments fétides & volatils qui, réduits en vapeur, telles que la respiration qui en fait la moitié, doivent former sur une surface de quinze pieds, telle que la peau, une colonne qui pèse cinq livres, c'est-à-dire, 1000 fois plus haute qu'un solide d'eau qui auroit cette base ; cette hauteur seroit presque celle de l'Homme, ou de 4. pieds 7. pouces. Dans les grandes Villes il y a souvent deux Personnes qui cohabitent sur 15. pieds de sol, ce qui doit rendre la vapeur deux fois plus dense."⁶

¹. *Ibid.*, pp. 51-52.

². *Ibid.*, p. 52.

³. *Ibid.*, loc. cit.

⁴. *Ibid.*, p. 54.

⁵. *Ibid.*, p. 56.

⁶. *Ibid.*, loc. cit.

Le texte de Boissier de Sauvages réunit toutes les interrogations de son temps et des décennies à venir. L'air est un corps simple, mais des matières peuvent s'immiscer dans ses interstices ; la nature des émanations est confuse, comme en témoigne l'emploi des termes exhalaisons, vapeurs, pousse, moufette ; il semble bien cependant que l'on distingue celles qui sont propres à la terre de celles qui sont dues à la putréfaction des matières animales et végétales ; le printemps apparaît comme une saison néfaste ; la ville comme un lieu où l'air est par nature vicié, l'homme se tuant lui-même par le simple fait de vivre. Enfin, Boissier de Sauvages ne tranche pas : est-ce la présence de matières étrangères qui provoque les maladies, sachant que l'on peut poser "que les poumons sont extrêmement sensibles à l'attouchement des matières auxquelles ils ne sont pas accoutumés"¹, ou bien ont-elles une action indirecte, par altération des qualités intrinsèques de l'air, et particulièrement leur propriété de "détruire le ressort de l'air"² ? Cohabitation des théories paracelsiennes et newtoniennes. Cette question restera centrale dans l'histoire des exhalaisons de la terre et de la médecine jusqu'à la Monarchie de Juillet au moins³.

L'article "Exhalaison" de l'*Encyclopédie*, signé par d'Alembert, apporte quelques précisions dans les termes, et distingue nettement ce qui tient de l'eau de ce qui tient de la terre :

"Les mots d'exhalaison & de vapeur se prennent d'ordinaire indifféremment l'un pour l'autre ; mais les auteurs exacts les distinguent. Ils appellent vapeurs, les fumées humides qui s'élèvent de l'eau & des autres corps liquides ; & exhalaisons, les fumées sèches qui viennent des corps solides, comme la terre, le feu, les minéraux, les soufres, les sels, &c. [...]

"Les exhalaisons, prises dans ce dernier sens, sont des corpuscules ou écoulemens secs, qui s'élèvent des corps durs & terrestres, soit par la chaleur du soleil, soit par l'agitation de l'air, soit par quelque autre cause. Les corpuscules parviennent jusqu'à une certaine hauteur dans l'air, où se mêlant avec les vapeurs, ils forment les nuages, pour retomber ensuite en rosée, en brouillard, en pluie, &c."⁴

Si on les trouve dans l'air, c'est que, "de corps solides qu'elles étoient, elles sont devenues fluides ; ou bien en ce que de fluide dense qu'elles étoient, elles ont été réduites

¹. *Ibid.*, p. 48.

². *Ibid.*, p. 50.

³. Cf. *infra*, chap. III, § III.1 : "Du méphitisme à la statistique médicale".

⁴. *Encyclopédie* (...), t. VI, Paris, 1756, art. "Exhalaison".

en un fluide plus rare [...] : elles doivent par conséquent avoir conservé plusieurs des propriétés qu'elles avoient auparavant"¹, ce qui est prouvé par les "exhalaisons qui tiennent de la nature du phosphore"² qui s'élèvent des champs de bataille dans lesquels on a enterré peu profondément les cadavres.

Certaines émanations peuvent s'échapper du sous-sol, lors des tremblements de terre, et, d'une façon générale, la terre est source de nombreuses *exhalaisons minérales*, ou *mouphètes*³, qui, selon le baron d'Holbach, "s'échappent par les fentes, crevasses & cavités qui se trouvent dans les roches"⁴. On les rencontre dans les mines, où leurs manifestations sont peut-être aussi étranges que magiques, mais toujours meurtrières :

"Ces exhalaisons paroissent comme un brouillard [...] ; d'autres fois elles s'annoncent en affoiblissant peu-à-peu, & même éteignant tout-à-fait les lampes des ouvriers : elles se manifestent aussi sous la forme de filamens ou de toiles d'araignées, qui en voltigeant s'allument à ces lampes, & produisent [...] les effets de la poudre à canon ou du tonnerre. [...] Mais le phénomène le plus singulier [...], c'est celui que les mineurs nomment ballon. On prétend qu'on voit à la partie supérieure des galeries des mines, une espèce de poche arrondie, dont la peau ressemble à de la toile d'araignée. Si ce sac vient à se crever, la matière qui y étoit renfermée se répand dans les souterrains, & fait périr tous ceux qui la respirent."⁵

Selon les mines, elles peuvent être arsenicales, "& il y a lieu de croire que ce qui les excite, est l'espèce de fermentation que cause la chaleur souterraine"⁶, ou sulfureuses. Elles participent au travail intestin de la terre :

"Quoi qu'il en soit, il paroît qu'il n'est point douteux que les exhalaisons qui s'excitent dans les entrailles de la terre, ne contribuent infiniment à la formation des métaux, ou du moins à la composition & décomposition des minéraux métalliques, puisqu'il est aisé de voir que par leur moyen il se fait continuellement des dissolutions, qui ensuite sont suivies de nouvelles combinaisons."⁷

¹. *Ibid.*

². *Ibid.*

³. *Encyclopédie (...)*, t. VI, *op. cit.*, art. "Exhalaisons minérales ou mouphètes".

⁴. *Ibid.*

⁵. *Ibid.* On reconnaît là le gaz carbonique, l'hydrogène sulfuré et le grisou (mélange de méthane, d'anhydride carbonique et d'azote).

⁶. *Ibid.*

⁷. *Ibid.*

Si elles provoquent la mort, on ne sait pas par quel processus.

En 1762, l'abbé Jacquin publie un ouvrage destiné à l'homme en bonne santé, et qui veut le rester¹. Rien de très original dans ce texte, qui examine principalement les *six choses non-naturelles*², et par conséquent l'air, en s'inspirant largement de Boissier de Sauvages, semble-t-il.

Pour Jacquin, l'air atmosphérique possède des propriétés physiques qui lui sont inhérentes, auxquelles s'ajoutent des propriétés chimiques dues aux corps étrangers qui s'y mêlent. Il accorde une attention particulière aux marais — "ces terres qui dévorent leurs habitants méritent-elles d'en avoir ?"³ — et distingue deux effets pernicioeux de leur voisinage : l'humidité dont se charge l'air, et les corps étrangers. La première est en elle-même nocive, mais :

"C'est bien pis, lorsque ces vapeurs sont mêlées de sels & de soufres nuisibles ; ce qui arrive assez ordinairement, parce que l'humidité dissolvant les sels & les soufres, les transmet avec elle dans l'air : ces parties salines & sulphureuses émanées, soit des minéraux, soit des végétaux en fermentation, voltigeant dans l'air, pénètrent nos corps, & y déposent leurs mauvaises influences ; delà viennent ces maladies malignes & épidémiques qui affligent continuellement des cantons entiers"⁴.

Pour lui, il y a donc identité entre les exhalaisons putrides et celles de la terre, tout se résumant à une question de sels et de soufres.

Félix Vicq d'Azyr — nous aurons l'occasion de revenir sur le rôle de ce médecin anatomiste dans la diffusion d'une doctrine de la santé publique — partage cet avis dans sa libre traduction de l'ouvrage de Scipion Piattoli sur les méfaits des inhumations dans les églises et les cimetières situés en pleine ville, précédée d'un important discours

¹. JACQUIN, *De la santé, ouvrage utile à tout le monde*, Paris, 1762.

². "Terme de Médecine assez impropre, mais reçu sur-tout dans les écoles, qui demande toujours un commentaire pour être entendu : on appelle donc choses non-naturelles (d'après Galien qui paroît avoir le premier employé cette épithète singulière) celles qui ne composent pas notre nature ou notre être, mais dont l'économie animale éprouve de grands effets, de grands changemens, de grandes altérations." C'est-à-dire l'air, les aliments et la boisson, le mouvement et le repos, le sommeil et la veille, les excrétiions et les sécrétions, les affections de l'âme, par opposition aux sept choses naturelles (éléments, tempéraments, parties, humeurs, esprits, facultés, actions) et aux trois choses contre-nature (les maladies, leurs causes et leurs symptômes). *Encyclopédie* (...), t. XI, Neuchâtel, 1765, art. "Non-naturelles, choses".

³. JACQUIN, *op. cit.*, p. 68.

⁴. *Ibid.*, pp. 67-68.

préliminaire¹. Vicq d'Azyr rappelle, dans un premier temps, les travaux de Maret, pour lequel "Un corps qui se pourrit [...] est [...] un foyer d'où sortent des corpuscules fétides sous la forme de rayons plus ou moins étendus, & plus ou moins inclinés à l'horizon"², rayons que la terre a le pouvoir d'atténuer voire d'arrêter, puis les objections que suscite cette théorie, parmi lesquelles celles de Lancisi par la voix de Pierre-Toussaint Navier³ : "la terre elle-même, creusée à une certaine profondeur, répand souvent des exhalaisons nuisibles"⁴. Vicq d'Azyr rejoint ce dernier et affirme :

"Les exhalaisons méphitiques qui sont répandues dans les caveaux & dans les églises infectées par les cadavres en putréfaction sont analogues à celles que fournissent différentes espèces de mines, aux émanations du charbon embrasé, à celles des acides minéraux & des substances arsenicales, au gaz des matières en fermentation & à cet espèce d'air qui est contenu dans les lieux fermés depuis long-temps."⁵

De même, peut-on voir une corrélation entre les émanations sulfureuses des mines et les vapeurs méphitiques des fosses d'aisances et des voiries. Dans leur rapport sur les fosses d'aisances, Laborie, Cadet le Jeune⁶ et Parmentier rappellent que, lorsque le père de Turgot vivait encore, "on fit, rue Vendôme, une fouille dans un terrain qui avoit été autrefois une voirie, & [...] à quelques pieds de profondeur, on rencontra du soufre en rognon"⁷, comme on en trouve en dépôt sur les murs des fosses, accompagné de ce que nous appellerions aujourd'hui un insecte associé.

¹. F. VICQ d'AZYR, *Essai sur les lieux et les dangers des sépultures (...)*, Paris, 1778. Les chiffres romains sont relatifs au texte introductif de Vicq d'Azyr, les chiffres arabes au *Traité* de Piatoli (que Vicq d'Azyr lui-même avoue avoir "publié avec quelques changemens", il sera donc difficile d'attribuer telle ou telle idée à l'un plutôt qu'à l'autre), publié en 1774, qui est plus un réquisitoire contre les inhumations dans les églises basé sur une argumentation historique et religieuse qu'un traité scientifique.

². *Ibid.*, p. xxxj.

³. P. T. NAVIER, *Sur les dangers des exhumations précipitées et sur les abus des inhumations dans les églises*, Paris, 1775. A ne pas confondre avec l'ingénieur Henri Navier, né en 1785, dont il sera question plus tard (chap. III, § III.2.2 : "La compressibilité").

⁴. VICQ d'AZYR, *op. cit.*, p. xliij.

⁵. *Ibid.*, pp. cxxviiij-cxxxij. C'est-dire à un mélange de méthane (CH₄), de gaz carbonique (CO₂), d'oxyde de carbone (CO), d'acide sulhydrique (H₂S).

⁶. Autre nom d'Antoine-Alexis Cadet de Vaux (qui se distingue ainsi de son frère aîné Louis Claude Cadet), pharmacien, agronome et surtout pré-hygiéniste actif.

⁷. LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER, *Observations sur les fosses d'aisance, & moyens de prévenir des inconvénients de leur vidange*, Paris, 1778, pp. 23-24.

En 1783, Mourgue de Montredon analyse, devant l'Académie des Sciences de Montpellier, "un phénomène rare [qui] a frappé d'admiration l'observateur instruit, autant qu'il a porté la surprise & la terreur chez le vulgaire, toujours prompt à s'effrayer de l'aspect des événemens de l'atmosphère qui ne lui sont pas familiers"¹ : en effet, un brouillard obscurcit le ciel du 17 juin au 22 juillet, suscitant les craintes que l'on imagine pour la récolte ; "ces vapeurs étoient très-basses, on n'en pouvoit douter à l'aspect louche que présentoient les corps qui étoient les plus près de la terre, tels que les maisons, les arbres, &c."² Elles ne sont pas aqueuses :

"D'après les tremblemens de terre & les bouleversemens qu'il y eut cette année en Europe, ne serons-nous pas fondés à penser que, par des causes qui vraisemblablement ne nous seront jamais connues, les principaux foyers des feux souterrains renfermés sous la partie du globe que nous habitons, furent mis dans une activité extraordinaire ?

"Ces feux souterrains furent mis en action presque en même temps sur une assez large bande de terre [...], depuis l'Islande jusqu'à Tripoli de Syrie. [...] Dès les mois de Février & de Mars, on vit une Isle nouvelle sortir du fond des mers du nord ; la Calabre & la Sicile être ébranlées par des secousses terribles. [...]

"Les vapeurs qui étonnèrent toute l'Europe, ne commencèrent à paroître que vers le milieu du mois de Juin [...]

"Des relations venues du Nord, nous apprirent que vers le commencement de Juin, il s'éleva successivement de nouvelles terres près de l'Isle nouvellement sortie du fond de la mer près de l'Islande, & qu'il s'en exhalait une fumée extrêmement épaisse"³

Elle gagne la région de Copenhague, où l'on apprend qu'elle "desséchoit l'herbe dans les prairies, qu'elle en altéroit la couleur, & que les feuilles de la plupart des arbres étoient tombées"⁴, la Saxe, la Transylvanie, l'Autriche ; elle apparaît partout où la terre a tremblé. Elle semble composée "de matières phlogistiquées, d'une espèce de foie de soufre volatil, de la même nature que les vapeurs qui sont si fréquentes dans le voisinage des volcans"⁵ ; d'ailleurs, cet excès de phlogistique porté dans l'air a probablement

1. MOURGUE de MONTREDON, "Recherches sur l'origine & sur la nature des vapeurs qui ont régné dans l'atmosphère pendant l'été de 1783", *M.A.R.S.*, 1781, p. 754.

2. *Ibid.*, p. 756.

3. *Ibid.*, pp. 757-758. Cette corrélation entre les mouvements intestins de la terre et les météores n'est pas un cas isolé : d'après le chirurgien Didelot la mauvaise santé des paysans vosgiens est due aux violentes intempéries locales, dans un pays qui "est d'ailleurs sujet à des tremblemens de terre". DIDELOT, "Topographie médicale de la Vôge" (faux titre), *H.S.R.M.*, 1777-1778, p. 111.

4. MOURGUE de MONTREDON, *op. cit.*, p. 759.

5. *Ibid.*, p. 762.

"produit ces éclairs si vifs, ces orages si fréquents, ces tonnerres terribles, ces grêles désastreuses qui répandirent la terreur dans toute l'Europe."¹ Finalement, ce phénomène n'a, pour Mourgue de Montredon, rien d'extraordinaire : "Après l'explosion des mines, après toute explosion naturelle, après la simple ouverture de certaines fosses, ne voit-on pas s'exhaler des vapeurs souvent visibles & presque toujours sensibles par leurs effets sur l'atmosphère ?"² Volonté de rassurer : on sait, et Robert Favre l'a rappelé, la terreur soulevée par le tremblement de terre de Lisbonne en 1755 — on parle alors en France de 100 000 morts (en réalité 20 000, semble-t-il)³ —, annonciateur d'autres catastrophes. "Dans un peuple encore marqué par la fréquentation assidue de la mort, la menace d'un cataclysme général était nécessaire pour faire de Lisbonne le lieu pathétique d'un «désastre»"⁴, conclut Favre. Mais ces craintes doivent aussi être rattachées à l'idée d'une terre vivante — au début du siècle (probablement vers 1715), William Hobbs explique la génération de la terre par les pulsations internes de son cœur⁵ —, et aux dangers de la concentration urbaine qui épuise et sature le sol.

b) Le cimetière des Innocents

L'affaire du cimetière des Innocents a été l'occasion d'importantes conjectures sur la nature des sols, la putréfaction, le rapport de l'un avec l'autre et leurs conséquences sur l'air. L'insalubrité de ce cimetière pluriséculaire⁶ situé en plein cœur de Paris (figure 17) avait été dénoncée, selon le médecin Michel Thouret⁷, dès 1554. Au XVIII^e siècle, les plaintes se multiplient : 1724, 1725, 1737, 1746, 1755⁸. Ce qui avait amené, en 1737-

¹. *Ibid.*, loc. cit.

². *Ibid.*, p. 763.

³. R. FAVRE, *La mort dans la littérature et la pensée françaises au siècle des lumières*, Lyon : Presses universitaires de Lyon, [1978], p. 63.

⁴. *Ibid.*, p. 66.

⁵. R. S. PORTER, "The earth generated and anatomized by William Hobbs : an early eighteenth century theory of the earth", *Bulletin of the British Museum (natural history), historical series*, vol. 8, mars 1981, p. 20.

⁶. Utilisé au moins depuis le Haut Moyen Age, peut-être dès le Bas Empire. A. LOMBARD-JOURDAN, *Aux origines de Paris : la genèse de la Rive droite jusqu'en 1223*, 2^e éd. rev. et augm. [1^{ère} éd. 1976], Paris : Ed. du C.N.R.S., 1985, pp. 53-59.

⁷. M. A. THOURET, *Rapport sur les exhumations du cimetière et de l'église des SS. Innocens (...)*, Paris, 1789, p. 4.

⁸. A. A. CADET de VAUX, *Mémoire historique et physique sur le cimetière des Innocents*, lu à l'A.R.S. en 1781, extrait du *Journal de Physique*, juin 1783, s. l. n. d., p. 2.

38, L. Lémery et F. J. Hunauld à analyser ses terres. "Ces académiciens ont retiré de la terre du cimetière des Saints Innocens beaucoup plus d'alkali volatil [ammoniaque], que de celle qu'ils ont analysée comparativement. Il résulte même de leur travail, que les terres alcalines et absorbantes ont une action plus prompte sur les cadavres que les terres argileuses."¹

Mais ce sont les événements de 1780 qui vont conduire à la suppression du cimetière et à des analyses détaillées : "on avoit établi, vers la fin de 1779, dans la partie du cimetière des Innocents, voisine de la rue de la Lingerie, une fosse de cinquante pieds de profondeur, destinée à contenir quinze ou seize cents cadavres"², entraînant la méphitisation de plusieurs caves de la rue de Lingerie. Les différentes mesures que l'on tenta de prendre n'y firent rien : "Au mois de Mars, le mal ne faisant que croître, on crut parvenir à en arrêter les progrès, en condamnant, au moyen d'une bonne maçonnerie, la porte de la cave la plus voisine du cimetière. Le méphitisme, loin de céder à un pareil moyen, acquéroit de jour en jour plus d'intensité."³ La construction d'un mur supplémentaire n'a pour conséquence "que d'avoir exposé les ouvriers à des accidents plus ou moins graves. C'étoit une trop foible barrière contre un méphitisme sans cesse renaissant, & dont un des caractères est de pénétrer à travers les pierres mêmes."⁴ Le déménagement des caves s'avère lui-même impossible, sans l'utilisation du ventilateur par le feu, dont la promotion avait déjà été faite pour la vidange des fosses d'aisances⁵. Les caves furent donc condamnées, non sans précaution : la solution consiste "à étendre sur le sol des caves six pouces de chaux vive, à fermer les portes & les soupireaux en murs de moëllons, recouverts d'un fort enduit de plâtre"⁶. Par ailleurs, il fallait "élever [...] une barrière contre le méphitisme qu'une fosse remplie de 15 ou 1600 cadavres pouvoit propager au loin, sur-tout au retour des chaleurs"⁷, la chaux vive est une nouvelle fois mise à contribution, mais l'insidieux méphitisme s'échappe par une autre voie.

1. VICQ d'AZYR, *op. cit.*, pp. clvj-clvil.

2. CADET de VAUX, *op. cit.*, p. 3.

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

4. *Ibid.*, *loc. cit.*

5. LABORIE, CADET le Jeune, PARMENTIER, *op. cit.*, p. 26 sq.

6. CADET de VAUX, *op. cit.*, p. 7.

7. *Ibid.*, *loc. cit.*

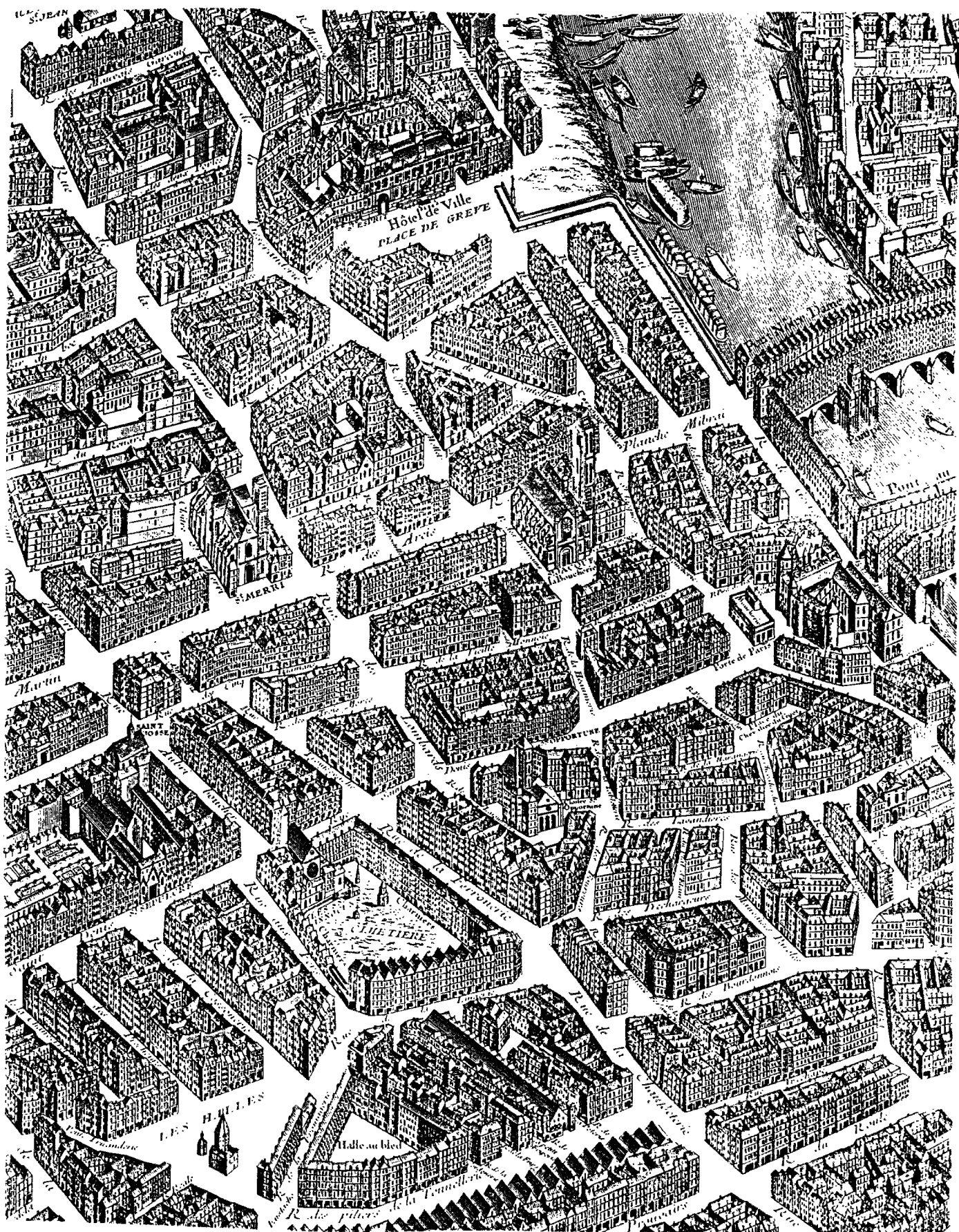


Figure 17. Le cimetière des Innocents vers 1730.

Source : Extrait du *Plan de Paris* levé et dessiné de 1734 à 1739 par Louis Bretez, dit *Plan de Turgot*.

Pour Antoine-Alexis Cadet de Vaux, qui a présidé à cette première phase des opérations, "l'espèce de méphitisme qui régnoit dans ces caves, se trouvoit compliquée de miasmes ou d'une sorte de gaz cadavéreux, qui lui donne le caractère d'un poison réel, & dont la principale action se porte sur le système nerveux."¹ Qu'est-ce qui distingue, dans la nature des émanations, le miasme du méphitique ? C'est ce que Cadet de Vaux ne dit pas.

Mais le méphitisme n'étant pas arrêté par cette première série de mesures, qui s'accompagne de l'interdiction de nouvelles inhumations, on décide, en 1785, de reconquérir ce terrain (par ailleurs remarquablement situé) pour y implanter une place publique. Pour ce faire, il faut d'abord le rendre salubre et l'on entreprend de curer cette terre "infectée pour la plus grande partie, soit de débris de cadavres, soit par des immondices des maisons voisines"². Pendant six mois³, "sur une étendue de deux mille toises quarrées ; plus de quatre-vingt caveaux funéraires ont été ouverts & fouillés : quarante à cinquante des fosses communes ont été creusées, à huit & dix pieds de profondeur, quelques-unes jusqu'au fond ; & plus de quinze à vingt mille cadavres, appartenans à toutes sortes d'époques, ont été exhumés avec leur bières."⁴ Thouret, qui écrit ces lignes, estime que le cimetière contient en tout plus de 90 000 corps⁵.

L'ampleur de l'entreprise, qui fait partie de la vaste saga des cimetières parisiens au tournant du XVIII^e siècle, mérite à elle seule que l'on s'y arrête. Elle a d'ailleurs déjà attiré l'attention des historiens de Paris⁶. En outre, Owen et Caroline Hannaway ont analysé "la détermination proprement médicale de l'événement"⁷ en comparant le rapport de Lémery et Hunauld aux écrits relatifs au cimetière de la seconde moitié du XVIII^e siècle, dans une article qui aurait pu s'intituler "deux doctrines pour une fermeture". Selon eux, si les premiers accusent le sol de l'insalubrité du lieu, les suivants ne se

¹. *Ibid.*, p. 4.

². THOURET, *op. cit.*, p. 24.

³. De décembre 1785 à mai 1786 et de décembre 1786 à février 1787, les travaux étant interrompus l'été en raison du danger accru des émanations.

⁴. *Ibid.*, pp. 24-25.

⁵. *Ibid.*, p. 16.

⁶. Voir par exemple : H. LEMOINE, "Les cimetières de Paris de 1760 à 1825", *Bulletin de la S.H.P.I.F.* 51, 1924, pp. 78-110 ; et plus généralement sur le lieu du cimetière : P. ARIÈS, *L'homme devant la mort*, Paris : Ed. du Seuil, 1977, chap. 11 : "La visite au cimetière".

⁷. O. HANNAWAY, C. HANNAWAY, "La fermeture du cimetière des Innocents", *XVIII^e siècle* 9, 1977, p. 182.

consacreront qu'à l'air : "Le système de représentations qui domina ce jeu fut assurément celui des constitutions épidémiques avec ses deux ordres de causalités, les émanations miasmatiques du sol et les déterminations atmosphériques."¹ C'est oublier une importante partie du rapport de Thouret consacrée à l'analyse des cadavres exhumés du cimetière². Pour lui, cette terre "depuis long-tems rassasiée de funérailles"³, ce "sol [...] saturé dans tous ses points de matières animales, n'avoit plus depuis long-tems aucune action sur les corps dont il étoit profondément pénétré."⁴ C'est la raison pour laquelle il produit cette momification nouvelle, la *momification en gras*, par opposition à la sèche, bien connue. En effet,

"Les corps eux-mêmes n'ayant rien perdu de leur volume [...], ne sembloient avoir éprouvé aucune altération. En déchirant l'enveloppe funèbre, on voyoit que leurs chairs s'étoient conservées ; le seul changement que l'on apercevoit, consistant en ce qu'elles étoient comme changées en une masse ou matière mollassse, dont la blancheur, encore relevée aux lumières par la teinte noire du sol, paroissoit plus éclatante.

.....

"toutes les parties molles converties en une substance pulpeuse, le plus souvent très-solide, d'une blancheur plus ou moins pure, déjà connue sous le nom de *gras* par les fossoyeurs ; n'ayant plus de tissu fibreux ; s'écrasant sous les doigts, elle paroît onctueuse & comme savonneuse au toucher ; se durcissant à l'air sec, ou elle prend quelquefois un poli luisant, & forte d'éclat métallique ; susceptible de se ramollir à l'air humide, où elle se couvre de moisissures très-abondantes, & qui offrent les couleurs les plus vives & les plus variées ; formée à l'extérieur par la peau, dont on reconnoît le tissu grenu, & embrassant toute l'épaisseur du corps adipeux, ou de la couche de graisse placée au-dessous, qui se change en gras de la plus grande blancheur, d'une consistance serrée & compacte ; offrant ensuite une masse alvéolaire, quelquefois très-rare, très-spongieuse, qui paroît correspondre au tissu cellulaire, & dans l'épaisseur de laquelle on distingue long-tems toutes les couches des muscles, toutes les divisions des faisceaux qui les forment, toutes les directions de leurs fibres, comme empreintes & ombrées en traces fugitives & légères d'un brun-rougeâtre très clair."⁵

¹. *Ibid.*, p. 189.

². Qui n'est jamais évoquée à notre connaissance dans l'abondante littérature consacrée à l'hygiénisme du XVIII^e siècle. Son pittoresque aurait pourtant dû séduire.

³. THOURET, *op. cit.*, p. 18.

⁴. *Ibid.*, p. 6.

⁵. *Ibid.*, pp. 42-45.

Outre la description minutieuse de l'altération des différents organes¹, en fonction de l'âge et du poids des victimes, Thouret rapporte les expériences de Fourcroy sur cette matière qui "a tous les caractères d'un véritable savon"² : c'est un "savon ammoniacal, ou à base d'alkali volatil"³ ; sa dissolution puis son évaporation donnent pour sel "un mélange de phosphate ammoniacal, & de phosphate de soude [...] une peu de phosphate calcaire"⁴, trois sels "que l'on retrouve aujourd'hui presque dans toutes les matières animales."⁵ On retrouve cette matière dans le cerveau des baleines, dans la bile, et dans les cerveaux humains et animaux en général.

Cette *transmutation* est rapide : cinq années suffisent⁶, mais elle n'a pas lieu dans les sépultures particulières, où le sol n'est pas saturé. "Il paroît de plus qu'une épaisse couche de sol est nécessaire au-dessus des corps ; trop près de la surface, l'évaporation des gaz auroit lieu, & il n'y auroit pas de saturation."⁷

En définitive, "Il n'y avoit que le renversement total des formes, & la corruption extrême des grandes villes, qui pussent amener ces modifications particulières"⁸. Nous reviendrons sur cette ville pernicieuse du XVIII^e siècle (§ I.1.2, b).

c) *Nyctalopie et maux d'yeux*

Les émanations de la terre affectent très souvent les yeux : Ramazzini signale les ophtalmies des mineurs — exception faite des mines de cuivre, "car Macrobe remarque que ceux qui restoient dans les mines de cuivre, avoient toujours les yeux en très-bon

¹. Qui montre la place prépondérante prise par l'étude des tissus et des fibres depuis les travaux d'Albrecht von Haller — "la fibre est pour le physiologiste ce qu'est la ligne pour le géomètre, savoir ce dont naissent toutes les figures" (A. von HALLER, *Elementa physiologiae corporis humani*, t. 1, Lausanne, 1757, p. 2, cité par DUCHESNAU, *op. cit.*, p. 130) — et de Théophile Bordeu, fer de lance de l'école de Montpellier, qui s'attache au rôle structurant majeur des fibres dans les tissus (T. BORDEU, *Recherches sur les tissus muqueux ou l'organe cellulaire, et sur quelques maladies de la poitrine*, Paris, 1767 ; DUCHESNAU, *op. cit.*, pp. 378-382), et annonce les recherches de Xavier Bichat (*Traité des membranes en général et de diverses membranes en particulier*, Paris, 1800).

². THOURET, *op. cit.*, p. 57.

³. *Ibid.*, p. 59.

⁴. *Ibid.*, p. 60.

⁵. *Ibid.*, p. 61.

⁶. *Ibid.*, p. 79.

⁷. *Ibid.*, pp. 91-92.

⁸. *Ibid.*, p. 110.

état"¹ —, et les maladies des vidangeurs, à l'origine, si on l'en croit, de son *Essai*.
Assistant à la vidange de sa propre fosse,

"je m'avisai d'examiner un des Vuidangeurs qui, dans ce goufre infernal, travailloit avec précipitation & anxiété. Touché du danger qu'il couroit, je lui demandai pourquoi il se pressoit tant, & s'il ne craignoit pas de se lasser. Alors ce malheureux levant les yeux sur moi, «personne, me dit-il, ne peut imaginer ce qu'il en coûte, pour rester plus de quatre heures dans cette fosse ; c'est risquer de devenir aveugle». Quand il sortit de ce lieu, j'examinai ses yeux avec attention, ils me parurent enflammés & obscurcis [...]

"Après cette aventure, j'observai beaucoup d'anciens Vuidangeurs borgnes ou aveugles, qui demandoient leur vie dans la ville. Je ne suis pas étonné qu'une exhalaison si pernicieuse blesse le tissu délicat des yeux."²

Pourquoi cet *acide volatil* n'attaque-t-il que les yeux ? A l'explication par "cette antipathie particulière de certaines substances avec quelques parties du corps"³, qui revient à "expliquer un phénomène obscur par un autre qui l'est encore davantage"⁴, Ramazzini préfère

"dire [...], que les yeux des Vuidangeurs sont les seules parties affectées par les vapeurs des latrines, parce qu'étant plus exposés & d'un sentiment plus exquis que les autres, ces vapeurs, par leur action stimulante, expriment le fluide lacrymal de ses canaux, s'y mêlent & forment avec lui un nouveau composé, qui ne peut nuire qu'aux yeux seuls, & point du tout aux autres organes."⁵

A Paris, le méphitisme des fosses d'aisances entraîne la *mitte simple* : "le nez commence à être pris [...]"⁶, puis "une douleur dans le fond de l'œil, laquelle se propage

1. RAMAZZINI, *op. cit.*, p. 23. C'est du bronze que Macrobe chante en réalité les louanges : "L'airain a, en effet, une vertu stiptique, comme disent les médecins. Aussi mettent-ils des parcelles de ce métal dans les remèdes qu'ils ordonnent contre les premières atteintes de la putréfaction. Ensuite, on a remarqué que ceux qui travaillent l'airain, ont toujours les yeux dans un état de santé excellent [...]. En effet, les émanations qui proviennent de l'airain agissent sur les yeux, absorbent et dessèchent les mauvaises influence qui peuvent leur nuire." (MACROBE, *Les saturniales*, livre VII, § XVII : "L'œuf a-t-il existé avant la poule, ou la poule avant l'œuf ?", in : *Œuvres*, t. 2, trad. du latin par Henri Deschamps, Paris, 1846, p. 461). Macrobe attribue certaines putréfactions nocturnes à "une propriété particulière de la lune, [...] je ne sais quelle lumière qui s'échappe de cet astre" (*ibid.*, p. 457).

2. RAMAZZINI, *op. cit.*, pp. 135-136.

3. *Ibid.*, p. 138.

4. *Ibid.*, *loc. cit.*

5. *Ibid.*, p. 139.

6. LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER, *op. cit.*, p. 9.

dans les sinus frontaux ; le globe de l'œil & les paupières [...] rouges & enflammés"¹, le retour à l'air libre suffit à faire disparaître ces symptômes. La *mitte grasse* est plus sérieuse ; elle met un voile sur les yeux des vidangeurs et "les jette pour un ou deux jours dans une cécité absolue"², l'alitement et les compresses sur les yeux leur permettent de recouvrer la vue. Bien pire, si le vidangeur ne quitte pas la fosse alors qu'il ressent les atteintes de la *mitte*, il peut être victime du *plomb*, dont on distingue dix-sept variétés : "Le resserrement du gosier, des cris involontaires & quelquefois modulés, ce qui fait dire aux ouvriers que le plomb les fait chanter ; la toux convulsive, le rire sardonique, le délire, l'asphyxie & la mort sont les accidens par lesquels se diversifie l'action du plomb sur les vuidangeurs."³

Mais la maladie la plus singulière qui peut être provoquée par la terre est la *nyctalopie* ou *aveuglement de nuit*, qui a donné lieu à un important rapport dans les séances de la Société Royale de Médecine en 1786⁴. En effet, "dans plusieurs villages voisins de la Roche-Guyon⁵, & notamment dans celui de Saint-Martin, il y a tous les ans, au printemps, beaucoup d'individus qui perdant la vue le soir au coucher du soleil, la recouvrent le lendemain matin à son lever, & qui continuant de bien voir pendant le jour, retombent vers la nuit dans l'aveuglement"⁶.

Ramazzini avait déjà fait une observation assez similaire : "au mois de Mars, vers l'équinoxe du printemps, les enfans de l'âge de dix ans ou environ, sont attaqués d'une grande foiblesse de vue ; ils ne voient que très-peu pendant le jour, & vont errans dans les campagnes comme des aveugles, sans presque connoître leur chemin ; dès que la nuit approche, leur vue revient un peu."⁷ Ce *mydriasis*, dont la cause est sujette à controverse, était attribué par Ramazzini aux seuls rayons solaires :

"Les enfans de la campagne restent tout l'hiver dans des étables chaudes & humides ; ils en sortent vers le printemps, & exposent leur tête nue au soleil : alors il se fait un écoulement d'humeurs, qui dilate la pupille & rend la vue foible, à cause de trop de rayons qui rentrent dans

¹. *Ibid.*, p. 10.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 12.

⁴. CHAMSERU, "Recherches sur la nyctalopie, ou l'aveuglement de nuit, maladie qui règne tous les ans dans le printemps, aux environs de la Roche-Guyon", *M.S.R.M.*, 1786, pp. 130-178.

⁵. Val-d'Oise.

⁶. *Ibid.*, p. 130.

⁷. RAMAZZINI, *op. cit.*, pp. 445-446.

l'œil. Sur la fin d'Avril, l'énergie de ces rayons augmentée résout les humeurs épanchées, & remet la vue dans son premier état, parce que la pupille se resserre & reprend sa première tension."¹

Nous n'avons pas rencontré ailleurs ce terme de mydriasis, mais la nyctalopie a quant à elle fait couler beaucoup d'encre, et l'on n'a jamais été bien sûr de la justesse de cette appellation. Le rapport de la Société Royale de Médecine est d'ailleurs précédé d'un mémoire de Saillant qui, suite à une discussion étymologique centrée sur la raison d'être de la lettre λ dans un texte d'Hippocrate, estime que la nyctalopie désigne plutôt la vue de nuit, elle-même caractérisant deux maladies : "la première, plus connue des anciens, se trouve jointe avec la cécité, ou au moins l'amblyopie diurne. La seconde ne suppose point d'affection particulière de la vue pendant le jour ; mais pendant la nuit, & au milieu des ténèbres, il arrive quelquefois aux malades, pendant un espace de temps plus ou moins long, de voir aussi clair qu'en plein jour."² Mais Hippocrate n'oublie pas l'aveuglement de nuit : "C'est peut-être elle qu'Hippocrate appelle [...] affection nyctalopique, & qu'il observa dans une constitution où les vents de midi & de nord s'étoient succédé avec beaucoup de neige"³. Hermann Boerhaave préférait appeler *Hemeralopie* la vue diurne, "lorsque le malade voit mieux pendant le jour, & qu'aussi-tôt que le jour commence à tomber & qu'il fait nuit, il est entièrement aveugle & ne voit rien"⁴, et *Nyctalopie* "la vûe nocturne"⁵, se réclamant d'Hippocrate. Pour l'*Encyclopédie*, l'héméralopie "est une affection de la rétine devenue si sensible aux impressions de la lumière, que cette membrane en est blessée pendant le jour, & qu'on ne voit que pendant la nuit"⁶, Hippocrate l'appelle nyctalopie, elle est d'origine inflammatoire.

Quoi qu'il en soit, le duc de la Rochefoucauld, Chamseru et l'abbé Rochon se rendent sur les lieux en juin 1785, et leur méthode d'étude, modèle du genre, n'est pas

¹. *Ibid.*, pp. 446-447.

². SAILLANT, "Mémoire sur une espèce de Nyctalopie ou vue de nuit dont parle Hippocrate", *M.S.R.M.*, 1786, p. 122.

³. *Ibid.*, p. 127.

⁴. H. BOERHAAVE, *Des maladies des yeux (...)*, Paris, 1749, p. 159.

⁵. *Ibid.*, p. 162.

⁶. *Encyclopédie (...)*, t. VIII, Neuchâtel, 1765, art. "Héméralopie", par Louis. Aujourd'hui, le *Robert* indique que la nyctalopie est la "Faculté de bien voir pendant la nuit ou dans l'obscurité, normale chez certains animaux (hibou, chouette, chat), rare chez l'homme" et renvoie à l'héméralopie, "Diminution considérable de la vision lorsque l'éclairage est faible". Les dictionnaires à l'usage des médecins donnent comme définition de la nyctalopie la faculté de voir la nuit.

moins intéressante que les conclusions qu'ils en tirent : "Nous déterminerons d'abord le nombre commun des nyctalopes, leur âge & leur sexe. Ces objets seront mis en rapport avec le climat, la saison, les maladies de la même constitution, & particulièrement celles qui affectent les yeux."¹

On ne compte pas moins de "quarante nyctalopes, que l'on nous a dit être de tout temps le nombre moyen des malades, sur environ huit cent personnes dont est composée la paroisse de Saint-Martin."² Le sexe ne semble pas jouer sur l'apparition de cette maladie, ni l'âge ; mais "la cécité nocturne attaque généralement les personnes qui travaillent à la terre : les enfans commencent à s'en ressentir vers l'âge de dix ou douze ans, selon le terme où ils sont associés avec les hommes faits à quelque occupation des champs"³ ; elle se déclare au printemps — comme de nombreuses maladies, en particulier des yeux, telles "la lippitude, ou la chassie des paupières"⁴ — et plus précisément :

"sur la fin de l'hiver, lorsque la terre, couverte de neige & de frimats, vient à se ressuyer, & passe de l'état d'humidité à celui de sécheresse, à mesure que le soleil prend de l'élévation au-dessus de l'horizon. Ce changement a lieu vers le mois de mars [...] ; & plus la sécheresse est longue & forte [...] plus la maladie se prolonge. [...] Dès que les pluies reviennent dans le cours de juin ou le commencement de juillet, la nyctalopie guérit d'elle-même, pour reparoître un peu en automne, & plus universellement au printemps suivant."⁵

Pour les habitants, "les yeux sont alors affectés par une ardeur ou une certaine chaleur de la terre, dont on éprouve la sensation en fouillant sa surface"⁶ ; Chamseru, sans les contredire, pense que "le dessèchement du sol [...] semble donner lieu à des émanations nuisibles [...] des exhalaisons capables d'affecter les corps ambiants. [...] C'est une sorte de fermentation relative à l'apparition du printemps, au développement actuel de la végétation, & à la qualité du terrain."⁷ La preuve en est que, selon le père d'Entrecolles (1739), la nyctalopie est plus répandue "à la Chine [...] dans les lieux où le principal

¹. CHAMSERU, *op. cit.*, p. 133.

². *Ibid.*, p. 135.

³. *Ibid.*, p. 149.

⁴. *Ibid.*, p. 144.

⁵. *Ibid.*, pp. 149-150.

⁶. *Ibid.*, p. 150.

⁷. *Ibid.*, pp. 152-153.

moyen d'amélioration rurale tient à la profusion des arrosements, la culture du riz exigeant sur-tout que les terres soient profondément imbibées & dans l'état de fange"¹.

Dans son *Mémoire sur les épidémies*, Raymond proposait quelques années plus tôt une analyse similaire qui n'avait pas dû échapper à Chamseru :

"Les maladies populaires suivant donc l'état de l'évaporation de la terre, laquelle commence vers la mi-janvier, où l'ascension du soleil est déjà notable, & va en croissant jusqu'à l'équinoxe du printemps, où l'humidité est la plus grande aux sens & à l'hygromètre ; les vapeurs continuant bien ensuite de s'élever en plus grande quantité, mais se raréfiant de plus en plus, par les chaleurs qui augmentent, elles agissent toujours moins sur le corps."²

Les vapeurs font une nouvelle offensive du solstice à l'équinoxe, puis leur action décline : "Les vapeurs qui s'élèvent, dans le cours vernal, de la terre humectée, participent plus de l'eau ; & celles qui émanent de la terre, tiennent plus des autres éléments, & sont par conséquent plus actives"³. Autrement dit, ce sont les variations de la *teneur en eau* du sol qui sont responsables.

Mais le dessèchement printanier de la terre n'est pas seul en cause — la nyctalopie se développerait alors dans toutes les contrées — : la paroisse de Saint-Martin est particulièrement exposée en raison de la topographie du lieu. Située dans une anse de la Seine, au pied d'une chaîne de montagnes, elle reçoit de plein fouet les vents du sud et de l'ouest qui sont arrêtés par cette falaise. Or, "Il est d'expérience que les vents du nord sont généralement plus salutaires dans notre climat que ceux du midi & de l'ouest. Ces derniers chargent l'ouïe, la vue, la tête, appesantissent les membres, & disposent à la dissolution. [...] L'influence du midi rend les pleurésies catarrhales plus fréquentes"⁴, et "Les courans qui agitent plus habituellement l'atmosphère, & qui modifient les qualités sensibles de l'air & les miasmes qu'il peut charier, selon la nature du sol & des eaux,

¹. *Ibid.*, p. 156.

². RAYMOND, "Mémoire sur les épidémies ; dans lequel on recherche particulièrement : Quels sont les rapports des maladies épidémiques avec celles qui surviennent en même temps & dans le même lieu, & qu'on appelle *intercurrentes* ? Quelles sont leurs complications, & jusqu'à quel point ces complications doivent influencer sur leur traitement ?", *M.S.R.M.*, 1780-1781, p. 44.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. CHAMSERU, *op. cit.*, p. 164.

paroissent aussi devoir influencer puissamment sur les maladies endémiques."¹ D'ailleurs toutes les villes, ou les quartiers — la micro-climatologie urbaine n'est pas ignorée —, abritées du vent du nord et "où l'aspect du S. & du S. O. est le plus marqué, où les eaux, soit celles de la mer, soit celles des étangs & des rivières, se trouvent placées dans la même exposition"², souffrent de nyctalopie endémique : Otrante, Oléron, Belle-Ile, Strasbourg, Toul, Lille, Sélestat... Les maladies d'yeux, rares à Ferrare qui, bien qu'entourée de marais, est librement purifiée par les vents, sont fréquentes à Bologne qui, "entourée dans toute la partie du N. depuis l'E. jusqu'à l'O. de hautes montagnes, pleines de substances pyriteuses, reçoit dans la direction du N. au S. les émanations mal-saines de ces foyers de matières gazeuses & inflammables."³

La qualité du sol et du sous-sol entre en effet en ligne de compte ; l'inertie de la craie de la Roche-Guyon n'est qu'apparente :

"Le dégagement du gaz crayeux retenu pendant les grands froids d'hiver, répercuté en quelque sorte par la gelée ou sous les neiges, nous a paru, à l'approche du printemps, devoir se renouveler très-facilement & par surabondance dans ses propres foyers. A l'époque où tous les frimats disparaissant, la terre, amollie par le dégel, se ressuie d'humidités froides qui arrêtent encore ce méphitisme, & où elle s'échauffe à mesure que la saison change ; nous avons pensé que ce même méphitisme devoit reprendre ses droits concurremment avec le soleil, qui acquiert de la force & de la hauteur."⁴

En outre, une partie du mal vient de ce que les pentes et les parties accidentées du terrain ne sont pas mises en valeur par des "végétaux que l'on sait avoir la vertu d'assimiler à leur propre substance, certaines émanations nuisibles aux animaux pour restituer proportionnellement à la masse de l'air respirable l'espèce la plus pure, connue sous les noms de gaz déphlogistiqué, d'air vital, &c."⁵, ce qui est prouvé par la beauté des cultures que l'on peut rencontrer sur ces terres pourtant légères, peu épaisses et non amendées, et par le retour du méphitisme lors de la chute des feuilles : "N'est-ce point en partie sous ce rapport que l'on voit les maladies suspendues pendant l'été, renaître vers

¹. *Ibid.*, p. 165.

². *Ibid.*, p. 172.

³. *Ibid.*, p. 166.

⁴. *Ibid.*, p. 168.

⁵. *Ibid.*, pp. 167-168.

l'automne avec le caractère propre à cette saison, selon les alternatives & les combinaisons de la chaleur, du froid & de l'humidité ?"¹

Gaz crayeux ou fermentation saisonnière ? Selon Chamseru, c'est tout un, et le méphitisme de la paroisse de Saint-Martin "ne [diffère] point de [celui] de l'air commun, altéré par la respiration d'une ou de plusieurs personnes renfermées dans un même lieu"². D'ailleurs la nyctalopie est apparue dans un pensionnat parisien, sis il est vrai sur un terrain fort malsain, lorsque par les nuits froides les élèves se serrent tous au premier étage du bâtiment, ajoutant le vice de leurs respirations à l'insalubrité naturelle du lieu³. Encore une fois, la ville est un facteur aggravant.

d) Marais

Nous avons eu plusieurs fois l'occasion d'évoquer les marais, causes de maladies endémiques presque unanimement reconnues. Comme les fosses d'aisances, les cimetières, les voiries et les vaisseaux, ils vont faire l'objet de nombreuses études aux XVIIe et XVIIIe siècles ; dans sa séance du 27 février 1787, la Société Royale de Médecine propose la question : *Déterminer par l'observation quelles sont les maladies qui résultent des émanations des eaux stagnantes & des pays marécageux, soit pour ceux qui habitent dans les environs, soit pour ceux qui travaillent à leur dessèchement, & quels sont les moyens de les prévenir & d'y remédier* ?⁴ Vaste programme qui recevra les réponses les plus diverses.

En effet, l'enjeu est de taille :

"Plusieurs classes de citoyens sont nécessairement exposées aux exhalaisons des eaux croupissantes & des pays marécageux, tels sont, 1°, les ouvriers qui travaillent dans les ports, ou qu'on emploie pour nétoyer les égouts ; 2°, les paysans qui doivent curer les rivières, les canaux & les fossés ; 3°, ceux qui fauchent les prés ou qui font faner le foin ; 4°, les laboureurs ou journaliers qui cultivent les terrains voisins des marais ou des eaux dont le cours est lent, ou des rivières qui débordent ; 5°, les habitants des pays marécageux."⁵

¹. *Ibid.*, p. 178.

². *Ibid.*, p. 169.

³. *Ibid.*, pp. 154-155.

⁴. "Prix", *H.S.R.M.*, 1784-1785, p. 18.

⁵. *Ibid.*, pp. 18-19.

Pour Banau et Turben, dont le texte est antérieur, "Une première question se présente ici naturellement ; c'est celle de savoir ce qui constitue l'air salubre."¹ Y répondre est difficile ; c'est d'ailleurs cette réponse que recherchent la plupart des textes que nous évoquons, lorsqu'ils ne se demandent pas, ce qui est encore plus difficile, du moins tant que l'air demeure un corps simple, *Qu'est-ce qui rend l'air insalubre ?* Selon Banau et Turben, en premier lieu, l'air ne doit pas être trop léger : "La trop grande hauteur de ces montagnes rendant la colonne d'air trop courte, il ne pèse pas assez sur les corps organisés pour les tenir dans un équilibre parfait"², plus lourd en pleine mer, l'air pur est plus salubre. Sur la terre ferme, ses qualités naturelles se compliquent de la *malignité de la terre*, à tel point que "le défaut de culture avoit rendu les exhalaisons de la terre si pernicieuses en Amérique, qu'elles étouffoient les enfans Créoles dans le berceau."³ En effet, "le soleil ne pouvoit pas pénétrer le sol d'une couche de cinq ou six pieds d'épaisseur, formée des débris des végétaux, entassés les uns sur les autres pendant une suite de siècles"⁴. C'est la décomposition des matières vivantes qui corrompt l'air, ce qui est encore aggravé par la présence d'eau, dans les marais :

"Le principe de putridité inhérent aux eaux stagnantes, leur vient de la propriété qu'à l'eau d'attirer les miasmes qui altèrent le pureté de l'air. En conséquence, faute de mouvement, elle vient à en être saturée, sans les avoir décombinés, elle contracte le plus haut degré de corruption ; il s'en élève une vapeur méphitique, qui se tient comme suspendue au-dessus de la surface, d'où, entraînée par les vents, elle va porter plus ou moins loin la contagion & la mort."⁵

Si l'eau n'avait pas été stagnante, ni saturée, elle aurait pu venir à bout de la corruption des matières animales dont elle a le pouvoir de neutraliser les miasmes. Bien plus puissante, la végétation les dénature⁶, nous y reviendrons. Les miasmes altèrent la pureté de l'air et le privent de son *ressort*.

Jean-Baptiste Baumes, qui remporte pour son mémoire le prix de la Société Royale de Médecine, reprend plus ou moins le même raisonnement, mais lui donne plus d'ampleur et fait un effort de généralisation. Le *palus ou lieu marécageux* est

¹ J. B. BANAU, TURBEN, *Mémoire sur les épidémies du Languedoc*, Paris, 1786, p. 4.

² *Ibid.*, loc. cit.

³ *Ibid.*, p. 7.

⁴ *Ibid.*, pp. 7-8.

⁵ *Ibid.*, pp. 14-15.

⁶ *Ibid.*, p. 43.

"un lieu qui, par sa position et sa forme, reçoit et contient une masse plus ou moins considérable d'eau, et dans le fond bourbeux duquel repose une quantité plus ou moins grande d'une espèce de terreau humide formé par les atterrissemens et par la destruction de divers végétaux et d'insectes. Les lacs, les étangs, les marais, les marécages, les marres, sont compris dans cette acception commune [...]. Mais [...] il faut classer parmi ces lieux, certains terrains un peu bas qui, à raison de leur nature et d'une humidité qui leur est propre, fournissent à l'air une grande quantité de vapeurs, soit aqueuses, soit aëriiformes ; [...] certaines rivières dont le cours est lent et les surfaces considérables [...] ; les terrains inondés, soit par les eaux des rivières, soit par celles de la mer [...] ; les côtes maritimes sujettes à la marée, lorsque le fond que la mer laisse alternativement à découvert est vaseux ; les eaux où l'on a fait rouir le chanvre et le lin ; enfin, le sol boueux des grandes villes [...]."¹

Cependant, comme dans le cas de la nyctalopie, ce n'est pas tellement l'abondance d'eau qui altère l'air, mais "le dépôt plus ou moins considérable que la retraite ou l'évaporation des eaux laisse au moment d'un dessèchement incomplet."² C'est pourquoi deux solutions radicales et opposées peuvent être mises en œuvre pour éliminer définitivement les *miasmes marécageux* : le dessèchement et l'immersion totale³. L'eudiomètre — instrument aux vertus controversées⁴ (figure 18) — confirme cette théorie : "En effet, dans les deux extrêmes d'inondation ou de dessèchement parfait des lieux palustres, l'instrument [...] n'annonce aucune altération manifeste"⁵ ; dans le premier cas, l'humidité seule peut altérer l'air, dans le second, "l'air n'est moins pur et moins salubre peut-être, que par le défaut d'une végétation active et soutenue."⁶ Mais si le dessèchement est incomplet,

¹. J. B. BAUMES, *Mémoire (...) sur la question (...) : déterminer, par l'observation, quelles sont les maladies qui résultent des émanations des eaux stagnantes, et des pays marécageux (...), et quels sont les moyens d'y remédier*, Nîmes, 1789, pp. 3-5.

². *Ibid.*, p. 7.

³. *Ibid.*, p. 137.

⁴. Les deux mémoires primés en 1787 par la Société Royale de Médecine "prouvent également que l'Eudiomètre, telle qu'elle est entre les mains des modernes, donne des résultats très-utiles dans la théorie des phénomènes de la respiration, considérée sous des rapports physiologiques, mais qu'elle ne fournit point de moyens qui puissent être immédiatement appliqués à la médecine-pratique, c'est-à-dire, aux diverses altérations de l'air qui accompagnent ou produisent les maladies." "Prix", *H.S.R.M.*, 1786, p. 3.

⁵. BAUMES, *op. cit.*, pp. 10-11.

⁶. *Ibid.*, p. 12.

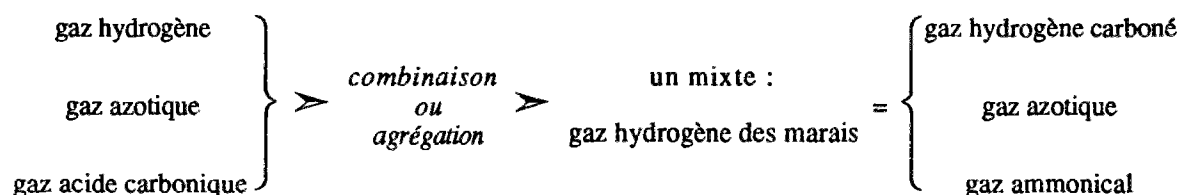
"l'air ambiant est infecté, et cette altération est comme 62 à 34 ou environ. Les terrains trop gras [...] fournissent [...] des miasmes également malfaisants, et l'altération qui en provient est comme de 62 à 57. Enfin, la boue limoneuse des rues, contenant des substances animales et végétales pourries ou moitié putréfiées, donne à l'air une infection qui n'est que comme de 60 à 50, et cette infection diminue en raison de la dessiccation de cette même boue, d'autant plus pernicieuse, qu'elle est plus humectée, et que le temps est chaud."¹

La rue est donc considérée comme un palus, comme les parties basses des villes. Ainsi à Paris du voisinage de la Bièvre, parcourue par Hallé : "on comprendra à quel point l'atmosphère qui couvre ce terrain doit participer de la nature de celles qui sont altérées par le voisinage des marais"², d'où fièvres intermittentes et maux de gorge gangréneux³.

Mais, là où Banau et Turben se contentaient d'une explication par les miasmes méphitiques, Baumes, cet *érudit hippocratisant ébloui par les progrès de la chimie*⁴ selon l'expression de Jacques Léonard, utilise les dernières trouvailles de cette science pour tenter d'analyser le caractère pernicieux des palus :

"Si le flambeau de la chimie vient éclairer ces premiers aperçus, nous découvrons successivement, à l'aide d'une décomposition graduelle, une portion de gaz hydrogène, une autre de gaz azotique, et une troisième de gaz acide carbonique, en des proportions relatives à la quantité des substances, soit animales, soit végétales, qui composent le dépôt"⁵.

Les combinaisons qui entrent en jeu sont analysées de la façon suivante⁶ :



¹. *Ibid.*, pp. 12-13.

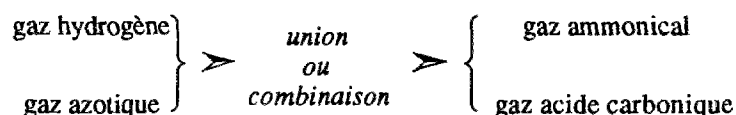
². HALLÉ, *Rapport sur l'état actuel du cours de la rivière de Bièvre*, lu le 30 août 1790, extrait des *H.M.S.R.M.*, Paris, s. d., p. 6.

³. *Ibid.*, p. 11.

⁴. Qui "prétend calquer une nosologie médicale sur la nomenclature chimique ; mais son iatrochimie tourne court." J. LÉONARD, *La médecine entre les savoirs et les pouvoirs : histoire intellectuelle et politique de la médecine au XIXe siècle*, Paris : Aubier-Montaigne, 1981, p. 28.

⁵. BAUMES, *op. cit.*, p. 14.

⁶. *Ibid.*, pp. 14-15, 57.



C'est au gaz ammoniacal qu'il faut attribuer la puanteur des lieux palustres. Néanmoins, malgré cette volonté d'analyse, Baumes n'est pas très clair en ce qui concerne la nature des miasmes marécageux, qui semblent bien être assimilés à ce gaz, "ce principe odorant qui provient plus intimement de la décomposition putride des matières organiques."¹ Par cette démonstration, il veut s'opposer aux détracteurs des miasmes qui nient leur existence.

e) Une épidémiologie biogéochimique

Ces analyses des différentes pathologies, cette recherche des causes premières de la maladie et de la mort dans le sol peuvent être liées au néo-hippocratismes des Lumières : les médecins ont recours en permanence au *Traité des airs, des eaux et des lieux* du médecin grec. Cependant, on ne peut rester indifférent à cette sensibilité aux émanations telluriques.

En effet, outre les réels dangers liés au grisou, à la mofette (nous avons vu dans la première partie de ce travail les problèmes rencontrés par les habitations construites sur d'anciennes décharges) et aux palus, depuis les années 1950, de nombreuses études ont montré l'influence du sol sur les organismes vivants. L'alimentation en est le vecteur principal : ainsi, l'addition en excès de nitrates à un sol carencé en molybdène peut entraîner une accumulation de nitrosamines cancérigènes dans la plante, qui les communiquera à l'homme². Il va de soi qu'un tel phénomène est largement dû à l'utilisation des engrais chimiques.

Le cas du goitre est plus intéressant. Cette maladie, qui touche aussi bien les hommes que les animaux, très souvent évoquée dans les textes du XVIII^e siècle, est due à une carence en iode ; mais il semble que la roche-mère joue un rôle dans son étiologie : rare voire inexistante dans les sols crayeux et éruptifs, elle semble favorisée par les calcaires carbonifères et les roches dolomitiques³. De même a-t-on pu corrélérer

¹. *Ibid.*, p. 15.

². A. VOISIN, *Sol, herbe, cancer*, Paris, 1957.

³. K. H. SCHÜTTE, *The biology of the trace elements*, Londres : Crosby Lockwood, 1964.

positivement la mortalité par cancer gastrique et la teneur en matière organique des sols cultivés, en particulier dans les sols tourbeux et dans certains sols argileux¹.

L'emploi de l'expression *épidémiologie biogéochimique* est bien entendu — et volontairement — abusif dans le contexte étudié. Il suppose l'existence d'un substrat scientifique dont la sédimentation ne s'est opérée, pour la plus grande part, qu'au XXe siècle. Pourtant, nous allons voir que si l'on ne peut parler de biochimie ni de biologie au siècle des Lumières, le cycle des matières mis en valeur par l'étude de la putréfaction, l'épidémiologie urbaine consacrée par les topographies médicales, reposent sur l'analyse du rôle du sol dans la vie comme dans la mort.

¹. P. DUVIGNEAUD, *La synthèse écologique*, Paris : Doin, 1974, pp. 174-175. On trouvera de nombreux exemples dans cet ouvrage.

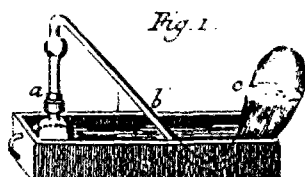


Fig. 1.

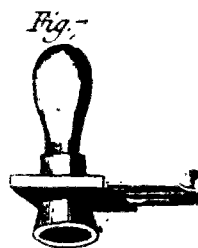
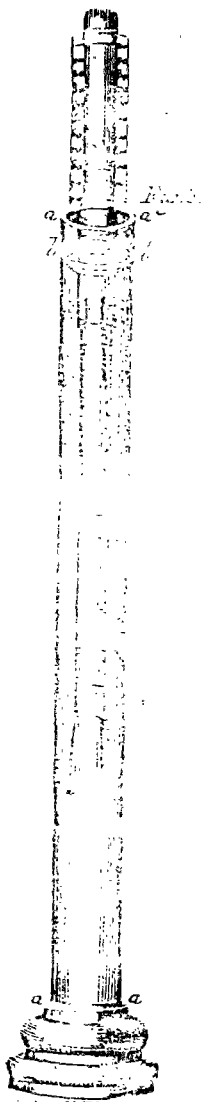


Fig. 7.

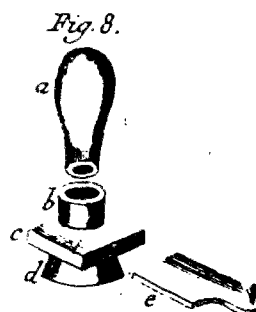


Fig. 8.

Figure 18. Eudiomètre de Fontana utilisé par Ingen-Housz.

Source : J. INGEN-HOUSZ, *Expériences sur les végétaux, spécialement sur la propriété qu'ils possèdent à un haut degré, soit d'améliorer l'air quand ils sont au soleil, soit de le corrompre la nuit, ou lorsqu'ils sont à l'ombre*, Paris, 1787, vol. 1, pp. 195-225, 334-343, fig. 1-8.

L'eudiomètre permet de déterminer le *degré de bonté de l'air*, i. e. sa teneur en air déphlogistiqué ou oxygène, évaluée par la diminution de volume du mélange avec de l'air nitreux. On introduit dans un tube en verre long de 14 à 18 pouces (fig. 2) deux volumes de l'air à analyser, dosés grâce à la mesure (fig. 7 et 8) qui représente une grande division du tube en verre ; on y ajoute un volume d'air nitreux et on secoue le tube dans l'eau pour que le mélange soit parfait. On glisse alors le tube en verre dans le tube en cuivre (fig. 3), rempli d'eau. Celle-ci occupe l'espace laissé vacant dans le tube en verre par la diminution de volume du mélange. Le zéro de l'échelle de cuivre mobile, qui partage une grande division du tube de verre en 100 parties, (cc fig. 2) est amené en haut de la colonne d'eau du tube de verre ; le nombre de graduations qui le séparent de la première marque du tube en verre indique la diminution de volume. On répète l'opération jusqu'à saturation : pour l'air commun, on ajoute généralement 3 volumes d'air nitreux à 2 volumes d'air, mais un air très pur peu requérir 6, 7 voire plus, volumes d'air nitreux. "Par exemple, si, après la troisième mesure d'air nitreux, on trouve que la marque du tube de verre qui se trouve au-dessus de la colonne d'eau, coïncide avec le nombre 8 de l'échelle, & qu'il y ait au-dessus de cette marque encore trois divisions entières [...], la colonne d'air [...] occupe un espace equivalent à trois mesures entières, chacune de cent subdivisions, & de $\frac{8}{100}$ d'une quatrième division [...]; lequel nombre étant déduit de cinq cens subdivisions d'air employés dans l'expérience, le restant est 192, lequel fait exactement [...] la portion des cinq mesures des deux airs qui se trouvent détruites." (pp. 201-202)

I.1.2. ECOLOGIE HUMAINE ET CYCLES TROPHIQUES

a) Cycles trophiques et putréfaction



Figure 19. Portrait de l'Arbre qui porte des feuilles, lesquelles tombées sur terre se tournent en oyseaux volants, et celles qui tombent dans les eaux se muent en poisson.

Source : C. DURET, *Histoire admirable des plantes, herbes esmerveillables et miraculeuses en nature*, 1605, planche reproduite in : J. DELUMEAU, Y. LEQUIN, *Les malheurs des temps : histoire des fléaux et des calamités en France*, Paris : Larousse, 1987, p. 303.

J. Guillerme, introduisant le volume de la revue *XVIIIe siècle* consacré au *sain* et au *malsain*, écrit : "Cet ensemble n'est qu'un échantillon d'une enquête sur les commencements de l'écologie *lato sensu*."¹ Nous ne savons pas s'il s'agit effectivement de l'amorce de la discipline ou bien d'un coup manqué ; Philippe Ariès, concluant *L'homme devant la mort*, n'affirme-t-il pas : "Ce n'est pas la première fois qu'à la fin du XVIIIe siècle on a l'impression de toucher au XXe"² ?

Ces quatre dernières années ont vu la publication de trois histoires de l'écologie en France. Pour Pascal Acot, qui a le mérite d'être l'auteur de la première d'entre elles, c'est dans la *géographie des plantes* du XIXe siècle que l'on doit chercher les sources de la discipline écologique, et non dans l'*Oeconomia Naturae* de Carl von Linné — "Par *Economie de la nature*, on entend la très-sage disposition des Etres naturels, instituée par le souverain Créateur, selon laquelle ceux-ci tendent à des fins communes et ont des fonctions réciproques"³. En effet, selon Acot, "à aucun moment le grand naturaliste

¹. J. GUILLERME, Présentation du numéro spécial "Le sain et le malsain au 18e siècle", *op. cit.*, p. 16.

². ARIÈS, *op. cit.*, vol. 2, p. 319 (de l'édition de poche).

³. C. von LINNÉ, *L'équilibre de la nature*, Paris : Vrin, 1972, p. 57, cité par P. ACOT, *Histoire de l'écologie*, Paris : P.U.F., 1988, p. 15. Les textes de Linné réunis dans l'ouvrage publié en 1972 sont extraits des *Amoenitates academicae* publiées entre 1749 et 1769.

suédois ne pense les relations existant entre le vivant et l'environnement qu'en terme de répartition, ou d'équilibration *providentielle* des vivants à la surface du globe"¹. Rien avant la fondation de la géographie des plantes par Alexandre von Humboldt², donc. Et il est vrai que la prairie décrite en 1758 par Henri-Louis Duhamel du Monceau, dans le but de montrer l'utilité d'une méthode et d'une classification en botanique, nous montre qu'il est impossible de confondre *flore* et *association végétale* :

"Un coup d'œil jetté vaguement sur toutes les plantes d'une prairie, éblouit & n'instruit point : le nombre & la variété étonne ; au premier abord tout paroît confus, parce qu'on aperçoit à la fois trop d'objets différents, on n'en distingue aucun : mais quand on fait un examen méthodique & détaillé de toutes ces plantes, le cahos se débrouille peu à peu, & l'objet devient moins compliqué."³

Selon Jean-Marc Drouin au contraire, le XVIII^e siècle ne peut être laissé pour compte dans l'histoire de l'écologie, bien que n'en faisant pas partie : "le thème de l'économie de la nature, tel que le XVIII^e siècle finissant le transmet au XIX^e siècle, est éclaté en trois parts [...] 1) l'interdépendance des espèces, 2) la circulation des éléments, 3) la localisation des espèces."⁴ En ce qui concerne le deuxième volet, celui qui nous intéresse ici, Drouin souligne les apports de Priestley, Cavendish, Lavoisier, et le renouvellement de la chimie entre 1770 et 1790 : "S'il fallait retenir un aspect essentiel [...], ce serait l'analyse des gaz et la prise en compte des échanges gazeux dans les réactions chimiques. Cette nouvelle approche permet à la chimie de poser d'une manière nouvelle la question de la nutrition des plantes et celle de la respiration des animaux."⁵

Quant à Jean-Paul Deléage, il ne tranche pas la question, mais considère que l'écologie est "en réalité tout juste centenaire"⁶. S'il évoque le "nouveau regard posé sur le monde vivant, fait d'observations précises et minutieuses"⁷, tout comme l'économie de

1. ACOT, *loc. cit.*

2. A. von HUMBOLDT, *Essai sur la géographie des plantes*, Paris, 1805.

3. H. L. DUHAMEL DU MONCEAU, *La physique des arbres (...)*, Paris, 1758, vol. 1, p. xxxj.

4. J. M. DROUIN, *Réinventer la nature : l'écologie et son histoire*, Paris : Desclée de Brouwer, 1991, pp. 46-47.

5. *Ibid.*, p. 50.

6. J. P. DELÉAGE, *Histoire de l'écologie : une science de l'homme et de la nature*, Paris : Ed. La Découverte, 1992, p. 7.

7. *Ibid.*, p. 33.

la nature et le rôle des physiocrates dans l'étude de celle-ci¹, les racines de la discipline sont selon lui à puiser dans le XIXe siècle.

Loin de nous l'idée de rechercher à tout prix des précurseurs à une écologie contemporaine, idée évoquée par Drouin :

"Ainsi Georges Canguilhem, après avoir défini le précurseur comme «un chercheur qui «aurait fait jadis un bout de chemin achevé plus récemment par un autre», et ajouté qu'avant de «mettre bout à bout deux parcours sur un chemin il convient de s'assurer d'abord qu'il s'agit bien du «même chemin», conclut que le précurseur est un artefact [...].

"Sans rouvrir ce débat, [...] Nous admettons que l'écologie possède une préhistoire"².

Il nous semble quant à nous que le XVIIIe siècle approche cette discipline, non là où l'on a voulu en rechercher les racines, *i. e.* en général dans l'histoire naturelle et en particulier dans la botanique, branche particulièrement développée de cette discipline. "Ce n'est pas parce qu'au XVIIe et au XVIIIe siècle on s'est intéressé à la botanique, qu'on a porté l'examen sur les méthodes de classification. Mais parce qu'on ne pouvait savoir et dire que dans un espace taxinomique de visibilité, la connaissance des plantes l'emportait bien sur celle des animaux."³, écrit Michel Foucault, ajoutant, "l'histoire naturelle, à l'époque classique, ne peut pas se constituer en biologie. Jusqu'à la fin du XVIIIe siècle, en effet, la vie n'existe pas. Mais seulement des êtres vivants."⁴ A plus forte raison ne peut-elle pas constituer une écologie.

Cependant, la fascination pour la putréfaction, que nous avons plusieurs fois entrevue dans les lignes précédentes, s'accompagne d'une perception aiguë du *cycle trophique* et, parfois, du *cycle des matières*. Le travail mené par Marie Thiroux d'Arconville, rare femme savante du XVIIIe siècle, en est un des exemples les plus frappants : cet *Essai pour servir à l'histoire de la putréfaction*, énorme catalogue des observations menées sur la putréfaction de la chair animale, du lait et des œufs, abandonnés à eux-mêmes ou associés à diverses substances (trois cents en tout), a pour but d'examiner le degré de conservation qu'elles sont susceptibles de procurer aux

¹. *Ibid.*, 1ère partie, chap. 1 : "L'économie de la nature".

². DROUIN, *op. cit.*, pp. 31-32 ; et citation de G. CANGUILHEM, *Etudes d'histoire et de philosophie des sciences*, [1ère éd. 1968] Paris : Vrin, 1983, pp. 21-22.

³. M. FOUCAULT, *Les mots et les choses : une archéologie des sciences humaines*, Paris : Gallimard, 1966, pp. 149-150.

⁴. *Ibid.*, p. 173.

matières animales. Thiroux d'Arconville a ainsi pu classer les substances selon la rapidité de la putréfaction : la première classe concerne les substances animales abandonnées à elles-mêmes, la deuxième, les mêmes plongées dans l'eau, la troisième celles avec lesquelles la viande ne s'est conservée qu'un jour ou deux, etc., la trente-et-unième celles qui l'ont conservée de sept mois et un jour à sept mois et vingt jours, et enfin la trente-deuxième et dernière, celles — au nombre desquelles le vin de Bordeaux rouge¹ — "qui ont rendu les œufs, le poisson & la viande inaltérables."² Chacune des expériences est décrite de façon méticuleuse ; à titre d'exemple, nous rapportons la première de la première classe :

"Le 29 Août 1763, le thermomètre 17^d.

"Le vent N.O. le ciel nuageux, la chaleur tempérée.

"Je mis deux gros de tranche de bœuf crud, & tué la veille, dans un bocal, couvert d'un papier, lié avec une ficelle.

"J'étois pour lors à la campagne, à quelques lieues de Paris. Le laboratoire où je faisais mes expériences étoit au rez-de-chaussée, un fossé fort large, rempli d'eau vive baignoit un des murs de ce laboratoire. De ce même côté étoit une fenêtre exposée au midi, & une autre vis-à-vis, exposée par conséquent au nord. Ce lieu est assez humide.

"Le 30, le thermomètre 16^d $\frac{1}{2}$.

"Le vent N.N.O. le ciel comme la veille, mais le temps plus frais.

"Je trouvois que la viande avoit déjà contracté une odeur aigre, & que sa couleur étoit plus pâle.

"Le 31, le thermomètre 16^d.

"Le vent E. le ciel couvert & le temps frais.

"La viande étoit putride, quoiqu'elle fût toujours ferme. Je la jettai."³

Il faut remarquer ce souci des conditions de l'observation : "Les diverses températures qu'occasionne le changement des saisons, le froid & le chaud, l'humidité & la sécheresse, la variation presque continuelle des vents, les orages, l'exposition, même du lieu [...], tout contribue à rendre les résultats [...] très-différens [...], & pourroit tromper l'observateur s'il n'avoit pas égard à ces différentes circonstances."⁴

¹. "Mais son odeur étoit très-acide", M. G. C. THIROUX d'ARCONVILLE, *Essai pour servir à l'histoire de la putréfaction*, Paris, 1766, p. 403.

². *Ibid.*, p. xlvij.

³. *Ibid.*, pp. 1-2.

⁴. *Ibid.*, pp. xxj-xxij.

Mais indépendamment du protocole d'expérience, les remarques préliminaires de Thiroux d'Arconville témoignent du rôle majeur accordé à la fermentation :

"C'est particulièrement à l'étude de la fermentation, de ses différens degrés, & sur-tout à celui de la putréfaction, que nous sommes redevables d'un très grand nombre de connoissances utiles. Il n'y en a peut-être pas même de plus intéressantes dans toute la Physique. C'est pour ainsi dire la *clef* de toutes les autres, & l'histoire de la nature entière. Tout ce qui a vie, soit animal, soit végétal, est soumis à son pouvoir."¹

Soumission dans la vie comme dans la mort, puisque "leur seule existence [des animaux et des végétaux] est un principe de destruction."² Est-ce pour rassurer ses lecteurs que Thiroux d'Arconville ajoute presque aussitôt : "Mais comme la nature est aussi féconde qu'ingénieuse dans ses productions, elle ne paroît détruire que pour créer de nouveau [...]. Par ses soins vigilans, rien n'est anéanti, tous les genres se prêtent un secours mutuel, & passent successivement d'un règne à l'autre par des loix invariables qu'elle même s'est prescrites, & qu'elle n'enfreint jamais"³ ?

De même Vicq d'Azyr évoquant les vapeurs méphitiques : "Ne seroit-il pas permis de présumer qu'en effet ces différens gaz sont autant de moyens que la nature s'est réservés pour faire de nouvelles combinaisons avec les débris des anciennes, pour donner aux substances les plus fluides un certain degré de consistance, & aux corps en général leur solidité, & peut-être une partie de leur goût & de leurs couleurs ?"⁴ Et Scipion Piattoli d'écrire, comme Thiroux d'Arconville, "La fermentation est un mouvement propre aux substances végétales & animales, dans lesquelles l'expérience a prouvé qu'il dégénéreroit bientôt en putréfaction, si une force organique dont la nature est inconnue n'en suspendoit les effets."⁵

Thouret, s'interrogeant sur l'identité de la matière de la momification grasse avec celle du cerveau, est plus optimiste :

"On pourroit dire, il est vrai, que la vie n'étant qu'une tendance à la décomposition putride, qu'une putréfaction même commencée, mais sans cesse réprimée & suspendue, il seroit possible

¹. *Ibid.*, p. x.

². *Ibid.*, p. xj.

³. *Ibid.*, p. xij.

⁴. VICQ d'AZYR, *op. cit.*, p. xxij.

⁵. *Ibid.*, p. 98.

que ce fût à ce premier mouvement, mouvement toujours incomplet, que seroit due la formation du peu de matière *cireuse*, qu'on trouveroit dans le corps vivant, que la putréfaction abandonnée à elle-même après la mort, continueroit cette transmutation, qui pendant la vie n'auroit été qu'ébauchée"¹.

Mais il préfère une autre explication, bien qu'il ne puisse la prouver : "N'y a-t-il pas lieu de penser que cette matière a un usage dans l'économie vivante [...] ?"²

Quelques années plus tôt, le médecin Janin, faisant la démonstration de l'utilité du vinaigre pour la destruction du méphitisme des fosses d'aisances et des égouts et la désinfection des hôpitaux, prisons et vaisseaux, se veut lui aussi rassurant devant l'œuvre de la nature :

"Elle n'est pas moins merveilleuse dans la décomposition des mixtes, des animaux & des végétaux. Si elle cause une fermentation délétère & putride, & altère l'air environnant même à une très-grande distance, si les émanations de ces corpuscules infects sont perverses en raison de leur intensité, & très-nuisibles à tout être qui les respire, n'accusez pas la nature, ne la traitez pas d'aveugle, d'incohérence dans ses principes ; ses opérations sont immuables, sa marche est régulière, j'ose dire efficace. L'état fermentescible désunit les principes constitutifs des corps, pour les faire rentrer dans la masse des éléments dont ils sont émanés."³

Nous retrouvons ici "l'utilité biologique et démographique de la mort pour la régulation et l'animation de la terre habitée"⁴ que cherchent à démontrer les philosophes naturalistes et matérialistes des Lumières.

Selon J. Guillerme, "le présupposé d'un équilibre dynamique des pièces de la nature [est] déjà, au milieu du siècle, un lieu commun avéré"⁵ et dans une certaine mesure assimilable à l'économie de la nature linnéenne ; mais se pose la question de la façon dont les matières mortes et les exhalaisons méphitiques peuvent contribuer à la vie. C'est ce

¹. THOURET, *op. cit.*, p. 69.

². *Ibid.*, p. 70.

³. JANIN, *L'antiméphitique* (...), 2^e éd. Paris, 1782, pp. xix-xx. Avec moins d'enthousiasme, le médecin Jacques Dehorne donne à peu près la même analyse : "car, dès que les animaux cessent de vivre, la nature achève de détruire elle-même son propre ouvrage ; elle décompose ces matières devenues inutiles, & les élabore encore pour les faire passer à l'organisation de nouveaux êtres. C'est ce mouvement qui est si dangereux pour la santé". J. DEHORNE, *Mémoire sur quelques objets qui intéressent plus particulièrement la salubrité de la ville de Paris*, Paris, 1788, p. 4.

⁴. FAVRE, *op. cit.*, p. 340.

⁵. J. GUILLERME, "La malsain et l'économie de la nature", *op. cit.*, p. 64.

chaînon manquant que recherche Jean Ingen-Housz lorsqu'il se lance dans ses *Expériences sur les végétaux*, publiées pour la première fois en Angleterre en 1779, en France en 1780 : "Il me paroissoit démontré que le règne animal & le végétal se prêtent des secours mutuels ; mais je ne voyois pas encore quels moyens l'Auteur de la nature a choisis pour empêcher que toute la race des animaux ne disparoisse de la surface de la terre, après avoir corrompu l'élément nécessaire à sa vie."¹ Séduit par les travaux de J. Priestley (1771), auquel on doit "l'importante découverte que la végétation d'une plante devient plus vigoureuse dans un air putride, & incapable d'entretenir la vie d'un animal ; & qu'une plante renfermée dans un vase plein d'air devenu mal-sain par la flamme d'une chandelle, rend de nouveau à cet air sa pureté primitive"², Ingen-Housz veut aller plus loin dans l'analyse des relations intimes et contradictoires qui unissent air et végétaux :

"J'observai «que les plantes n'avoient pas seulement la faculté de corriger l'air impur en l'espace de six jours ou plus, comme les expériences de M. Priestley semblent l'indiquer ; mais qu'elles s'acquittent de ce devoir important dans peu d'heures, de la manière la plus complète (a) ; — Que cette opération merveilleuse n'est aucunement due à la végétation, mais à l'influence de la lumière du soleil sur les plantes (b) [...] ; — Qu'elles versent une espèce de pluie abondante [...] de cet air vital & dépuré, qui [...] contribue réellement à en entretenir la salubrité, & à la rendre plus capable d'entretenir la vie des animaux (b) — Qu'il s'en faut beaucoup que cette opération soit continuelle, mais qu'elle commence seulement quelque temps après que le soleil s'est élevé sur l'horizon [...] : opération suspendue entièrement pendant l'obscurité de la nuit (c) [...] ; — toutes les parties de la plante ne s'occupent pas de cet ouvrage, mais seulement les feuilles, les tiges & rameaux verts qui les supportent[...] Que toutes en général corrompent l'air environnant pendant la nuit, & même au milieu du jour, dans l'ombre [...]»"³

La boucle est ainsi — presque — bouclée, et l'attitude à l'égard des végétaux va se renverser. Nous avons vu que Boissier de Sauvages attribuait aux végétaux les exhalaisons les plus pernicieuses ; Jacquin recommande d'éloigner les habitations des

¹. J. INGEN-HOUSZ, *Expériences sur les végétaux, spécialement sur la propriété qu'ils possèdent à un haut degré, soit d'améliorer l'air quand ils sont au soleil, soit de le corrompre la nuit, ou lorsqu'ils sont à l'ombre*, Paris, 1787, vol. 1, p. xlvij.

². *Ibid.*, vol. 1, pp. xlv-xlv.

³. *Ibid.*, vol. 1, pp. lxiv-lxxij.

forêts¹ ; pour Piattoli (ou Vicq d'Azyr), "tous les lieux souterrains, bas, marécageux, & entourés de montagnes & d'épaisses forêts, sont peu salubres"².

C'est à partir des années 1780 que l'on peut constater ce changement : Banau et Turben leur attribuent un rôle central et double — correction du sol et de l'air — dans le cycle des matières :

"Il semble qu'il y ait un équilibre nécessaire entre le règne animal et le règne végétal, que quelqu'un a appelé avec raison le règne sucré. Toutes les déperditions du premier de ces règnes servent à la nutrition du second, qui sert, à son tour, à l'alimentation du premier après avoir élaboré les parties qu'il en a reçues.

"Ce n'est pas seulement par leurs racines, c'est encore par leurs feuilles que les végétaux se nourrissent. [...]

"[...] celles [les feuilles] des plantes qui vivent dans l'air sont couvertes d'un duvet formé de poils qui sont autant de tuyaux capillaires. C'est par ces espèces de pompes aspirantes que sont attirés & absorbés les miasmes putrides répandus dans l'atmosphère."³

Pour Baumes, "La culture et une végétation vigoureuse sont donc de puissans moyens de corriger l'air mal sain des lieux palustres, puisque, dans les endroits bien cultivés, les exhalaisons nuisibles y sont absorbées par les plantes, pour être détruites et transformées ; et les plantes y répandent un air épuré."⁴

Si bien qu'Ingen-Housz écrivait, dans l'avant-propos à la deuxième édition française de ses *Expériences* :

"Les choses en sont venues au point que, pendant qu'on convient unanimement que l'influence bénigne des végétaux sur notre élément, & leur faculté de corriger l'air gâté & d'améliorer l'air bon, sont dues à la seule lumière solaire, & non à la chaleur ou à la végétation [...], quelques-uns croient cependant encore avoir des motifs de passer sous un profond silence, l'autre partie de ma doctrine, l'influence méphitique nocturne des plantes sur l'air, comme si elle ne méritoit pas leurs regards, tandis que quelques autres la condamnent comme un système des plus absurdes, comme une doctrine injurieuse aux sages & sublimes procédés de la nature"⁵.

1. JACQUIN, *op. cit.*, p. 67

2. VICQ D'AZYR, *op. cit.*, p. 103.

3. BANAU, TURBEN, *op. cit.*, pp. 44-45.

4. BAUMES, *op. cit.*, p. 173.

5. INGEN-HOUSZ, *op. cit.*, vol. 1, pp. xvij-xviii.

Plus tardif, le texte de Jean-Baptiste Monfalcon consacré aux marais¹ mérite d'être mentionné ici :

"Certaines espèces d'arbres aiment l'eau et y croissent avec rapidité [...]. Le saule marceau et l'espèce voisine à feuilles plus petites et rugueuses viennent très bien au milieu de la vase, comme les tamarix dans l'eau salée. Ces arbres fixent la fange autour de leur racines ; beaucoup de végétaux naissent sur ce terrain de formation nouvelle, qu'elles augmentent et enrichissent de leurs débris : alors, d'autres espèces de saules peuvent y vivre, surtout l'espèce à feuilles d'amandier ; l'herbe croît abondamment autour d'eux ; le sol amélioré par degrés, devient capable de nourrir l'aune et le frêne, arbre précieux dont la consommation est considérable. Une des causes qui, selon M. Bosc, retardent beaucoup l'assainissement et l'élévation du sol des marais, c'est qu'appartenant au gouvernement, à des communes ou à de riches propriétaires, ils sont abandonnés au pillage ; les buissons qui y croissent sont coupés tous les ans et même arrachés dès qu'ils ont acquis quelque grosseur."²

Ce n'est pas la première fois que nous rencontrons cette apologie de l'agriculture — ou plus généralement de la mise en valeur du sol —, qui doit certainement autant aux découvertes scientifiques qu'aux discours des physiocrates. Mais ce qui est beaucoup plus important, c'est que ce que nous expose Monfalcon est, selon nous, une succession végétale en bonne et due forme.

On pourrait, à l'instar de Raphaël Larrère analysant l'utopie forestière de l'ingénieur des Ponts et Chaussées François Antoine Rauch³, remarquer qu'en l'absence de photosynthèse, donc de production primaire, ces cycles sont des cycles fermés, qui "ne peuvent être issus que d'une Création achevée."⁴ Il nous semble qu'il y a plus : le rapport à la mort bien entendu, mais aussi la "hantise d'être entré dans une période de déclin [qui] s'exprime en France surtout dans les dernières décennies du siècle."⁵

Revenons encore une fois au mémoire de Thouret sur les exhumations. Celui-ci conclut :

¹. Nous nous y arrêterons plus longuement au chapitre II, § II.2.1 : "Renoncement".

². J. B. MONFALCON, *Histoire des marais, et des maladies causées par les émanations des eaux stagnantes*, Paris, 1824, pp. 390-391.

³. F. A. RAUCH, *L'Harmonie hydrovégétale et météorologique ou recherches sur les moyens de recréer, dans tous les climats, les anciennes températures et l'ordre primitif des saisons, par des plantations raisonnées*, Paris, 1802.

⁴. R. LARRERE, "L'écologie, ou le geste d'exclusion de l'homme", in : A. ROGER, F. GUERY (eds.), *Maîtres et protecteurs de la nature*, Seyssel : Champ Vallon, 1991, p. 178.

⁵. FAVRE, *op. cit.*, p. 404.

"Ce n'est donc point en terre que se réduisent les corps, ainsi qu'on l'avoit toujours pensé [...]. Il ne sont pas davantage la pâture des vers[...]. Mais, ainsi que l'avoit pensé Becker, les corps s'exhalent, s'évaporent en gaz ou principes fugaces & volatils, qui, rendus au réservoir commun, & mêlés de nouveau au sein des éléments, subissent une continuelle succession de formes & de métamorphoses différentes. C'est la raison pour laquelle on ne voit point s'élever le sol funèbre des Cimetières [...]; phénomène qui avoit tant exercé l'esprit des Physiciens de ces derniers siècles, qui considéroient que si tant d'innombrables tribus d'animaux [...] devoient être changés en ce dernier principe, le globe ne devoit être à sa surface, & dans toute l'épaisseur du sol [...] qu'un vaste amas de débris de cadavres"¹.

Cette crainte d'une submersion par la terre est relayée, plus tard, par celle de la diminution des eaux². Cadet de Vaux, alarmé par l'état de la vallée de Montmorency, écrit :

"Les nombreuses sources de ses côteaux nord, taries maintenant en grande partie, n'alimentent plus les ruisseaux [...]; celles même destinées à la boisson de ses habitants suspendent par intervalles leurs tributs ; les bestiaux vont chercher l'eau qui jadis se trouvait sous leur pas ; enfin, les puits se dessèchent [...]; aussi l'étendue et le volume des eaux de l'étang de Montmorency sont-ils considérablement diminués ; il ne subsisterait même plus sans les côteaux sud, couronnés par la forêt de Montmorency et de Saint-Prix qui l'alimentent encore. Qu'on vende ces bois, il seront bientôt abattus, et l'on n'aura ni bois, ni sources, ni ruisseaux, ni étang, ni poisson, ni moulin ; et en place de tout cela, on conquerra quarante hectares d'un sol bien aride !" ³

En effet, les eaux de surface s'évaporent sous l'action du soleil, pour former les météores, et

"si ces météores trouvent des forêts, des bois, de grands végétaux, attirés par l'humidité même de la terre, et soutirés du sein de l'atmosphère, ils s'attachent à la surface des feuilles, d'où ils retombent en gouttes pour abreuver le sol, et alimenter les sources d'où naissent successivement les ruisseaux, les étangs, les rivières et les fleuves. C'est une restitution que les arbres font aux mers, en échange des vapeurs élevées de leur sein ; et c'est ainsi que l'air est purifié par cet océan de vapeurs, et que la terre est fertilisée par cette multiplicité de canaux formés à sa surface."⁴

1. THOURET, *op. cit.*, pp. 123-125.

2. Il semble que le débat naisse en Suède : "Vallerius [...] croit que dans la nature l'eau se change successivement en terre, & qu'elle augmente par cette transmutation insensible, la masse des terres" : mais il s'agit dans ce cas d'une transformation inéluctable. J. J. MENURET DE CHAMBAUD, *Essais sur l'histoire médico-topographique de Paris (...)*, Paris, 1786, p. 34.

3. CADET de VAUX, *Réflexions sur la diminution progressive des eaux*, Paris, an VIII, p. 1.

4. *Ibid.*, p. 3. Sur les cycles de l'eau, voir : A. GUILLERME, *Les temps de l'eau (...)*, *op. cit.*, pp. 190-196.

En l'absence d'arbres, les vapeurs se condensent, les vents portent au loin, "vers les régions plus élevées et plus froides"¹ — donc les moins habitées — ces nuages d'orage. Cadet de Vaux y ajoute une apologie de l'humidité — "Les météores aqueux, les vents, la végétation, tels sont les moyens que la nature emploie pour salubrier l'air. [...] c'est au sein des déserts que la peste s'engendre"² —, ce qui peut paraître surprenant ; mais il suffit de planter des arbres dans les lieux marécageux pour corriger leur air vicié et bénéficier des bienfaits de leurs vapeurs rendues salubres. Déjà en 1787, Parmentier n'écrivait-il pas de la pluie qu'elle peut être "regardée comme la lessive de l'atmosphère"³, ajoutant plus loin : "il ne suffit pas toujours d'agiter l'air pour entretenir sa salubrité, il faut encore lui fournir un élément capable de le renouveler, ou de lui rendre ce qu'il a perdu ; c'est l'Eau dans son état d'aggrégation, ou en se décomposant, qui opère ce double effet"⁴ ?

Le déboisement⁵ a d'autres funestes effets : il est la cause de la diminution de la chaleur de la terre :

"Une forêt dans laquelle tout est vie et mouvement, produit nécessairement beaucoup de calorique ; un arbre est un corps organique. L'air et les fluides ne circulent pas sans chaleur dans leurs canaux resserrés ; les feuilles, les reptiles, les insectes, enfin les animaux qui habitent les forêts et qui y meurent, ne forment-ils pas sur son sol une véritable couche sourde qui, toujours en fermentation, engendre le calorique et l'y entretient ?"⁶

¹. CADET de VAUX, *Réflexions sur la diminution progressive des eaux*, loc. cit.

². *Ibid.*, p. 4.

³. PARMENTIER, *Dissertation sur la nature des eaux de la Seine, avec quelques observations relatives aux propriétés physiques & économiques de l'eau en général*, Paris, 1787, p. 28.

⁴. *Ibid.*, p. 105.

⁵. L'inquiétude occasionnée par la pénurie de bois croît tout au long du XVIII^e siècle et s'amplifie pendant la Révolution. A ce sujet, voir : D. WORONOFF, *L'industrie sidérurgique en France pendant la Révolution et l'Empire*, Paris : Ed. de l'E.H.E.S.S., 1984, pp. 327-352 ; LARRERE, "Rauch ou Rougier de la Bergerie : Utopie ou Réforme ?", in : WORONOFF (ed.), *Révolution et espaces forestiers*, actes du colloque du Groupe d'Histoire des Forêts Françaises, 3-4 juin 1987, Paris : L'Harmattan, 1989, pp. 247-256.

⁶. PARMENTIER, *op. cit.*, pp. 2-3.

Cadet de Vaux ajoute, plus loin : "car vous n'avez rien à substituer à cette terre qui est le débris des végétaux, des reptiles et des insectes, qui est façonnée par les météores, et tout disposée à rentrer dans l'organisation végétale par sa ténuité et sa solubilité."¹

En 1822 encore, Claude Lachaise reprend le même argumentaire : l'augmentation de la température en France et en particulier dans la région parisienne est due aux défrichements, déboisements, dessèchements des marais :

"ces épaisses forêts que la lumière pénétrait difficilement, et ces marais que la chaleur du soleil ne pouvait dessécher, devaient singulièrement rafraîchir l'atmosphère ; d'un autre côté la plupart des terres étaient incultes ; or, on sait que tout pays bien labouré est plus chaud que celui qui est sans culture ; car la terre suit une loi commune à tous les corps : plus elle est unie, moins elle absorbe le calorique."²

Les craintes concernant le rôle de la déforestation n'étaient pas fondées, A. Guillerme l'a démontré³, mais ne traduisent-elles pas la fameuse *hypothèse Gaia*, chère à James Lovelock, adoptée par une partie du monde scientifique d'aujourd'hui — et utilisée par certains écologistes —, selon laquelle le vivant crée les conditions de la vie qui ne lui préexistent pas⁴ ?

¹. *Ibid.*, p. 5.

². C. LACHAISE, *Topographie médicale de Paris (...)*, Paris, 1822, p. 50.

³. On constate cependant une baisse du niveau des nappes, dans le temps long (liée aux changements climatiques) ; en outre, à la fin du XVIIIe et au début du XIXe siècle, le drainage des marais, puis le développement des puits artésiens, enfin l'augmentation de la consommation d'eau, ont une influence non négligeable sur les eaux souterraines. A. GUILLERME, "The influence of deforestation on groundwater in temperate zones : an historical perspective", in : *The influence of man on the hydrological regime with special reference to representative and experimental basins*, actes du colloque d'Helsinki, juin 1980, pp. 75-79.

⁴. J. E. LOVELOCK, *Gaia : a new look at life on earth*, [1ère éd. 1979], Oxford/New York : Oxford University press, 1987. Cette hypothèse est sujette à nombre de controverses, qu'elles soient scientifiques ou idéologiques, comme le montre Drouin (*op. cit.*, pp. 147-149).

b) De la constitution à la topographie médicale

"ces gouffres habités qu'on décore du nom de Villes"

P. BERTHOLON, *De la salubrité de l'air des villes (...)*, Montpellier, 1786, p. 3.

Le second XVIII^e siècle voit aussi l'éclosion des *Topographies médicales*, qui diffèrent des *Constitutions médicales*, plus anciennes, en ce que leur projet est beaucoup plus vaste. Ces dernières lient les maladies aux saisons et aux vicissitudes du climat. On trouve par exemple dans les *Mémoires de la Société royale de médecine*, des constitutions relatives à la ville de Paris : Geoffroy y examine pour chaque saison, puis à l'intérieur de chacune d'elles, pour chaque mois, le temps qu'il a fait, les maladies rencontrées. En 1782 :

"Le commencement de l'hiver [...] a participé de la constitution de l'automne dernier. Il n'y a presque point eu de gelées pendant le courant du mois de janvier, & le temps a toujours été humide, souvent pluvieux, & très-peu froid pour la saison : ce n'a été que dans les premiers jours du mois de février que le froid a commencé à être plus vif. Après quelques jours de neige & de frimats, il est survenu de fortes gelées : la rivière, qui avoit charié pendant plusieurs jours, a ensuite été prise pendant quelque temps ; & le 16 février, le thermomètre est descendu à plus de dix degrés au dessous du terme de la glace. Vers la fin du mois le temps s'est adouci, & dans le courant de mars il a été variable : les ouragans, la neige, la grêle, les giboulées, ont été fréquents, & la température de la saison s'est maintenue froide & humide.

"Janvier

"Le nombre des malades, qui avoit été considérable cet automne, a paru diminuer dans le mois de janvier. Les petites-véroles, si fréquentes depuis quatre mois, se sont calmées insensiblement, & ont presque cessé sur la fin du mois. Les fièvres bilieuses putrides observées les mois précédents, ont encore continué, mais en moindre nombre. Elles duroient au moins vingt-un jours : les matières que les malades évacuoient étoient long-temps crues ; ce n'étoit qu'à la longue qu'on commençoit à appercevoir quelques signes de coction. A ces fièvres ont succédé, ou plutôt se sont jointes des affections catharrales, dans lesquelles on appercevoit des caractères marqués de putridité. [...] On a observé dans le même temps des rhumatismes simples & gouteux, des érypèles sur le visage, quelques jaunisses & quelques dysenteries, toutes maladies produites par la suppression de la transpiration, qui se portoit sur différentes parties, suivant la foiblesse des organes & la disposition des sujets. Je n'ai vu pendant ce mois que très-peu de fièvres intermittentes tierces ou doubles-tierces, qui, la plupart, n'étoient que des suites ou des rechûtes de celles que les malades avoient déjà essuyées pendant l'automne. Le temps humide & froid

occasionnoit ces rechûtes, qui étoient aussi quelquefois déterminées par quelque erreur dans le régime.

"Je ne sais pas si c'est à la mauvaise constitution de la saison pendant ce mois, que l'on doit attribuer des attaques de manie, qu'ont éprouvées presque en même temps plusieurs personnes, & qui heureusement ont été dissipées assez promptement par les saignées répétées du pied, de la gorge, par l'usage des émulsions aiguisées & rendues purgatives, des bains froids & des douches sur la tête."¹

Il semble que l'origine des topographies médicales en France remonte à 1765², sous l'impulsion de Richard, qui demanda des analyses précises des villes de garnison, afin d'y améliorer les soins dispensés aux malades. Dès le départ, d'après J. J. Menuret de Chambaud, l'ampleur de la réalisation se devait d'être nationale³. A sa création, en 1776, la Société Royale de Médecine reprend cet objectif à son compte ; la préface du premier volume de ses *Histoire et Mémoires* présente le projet de la Société et de ses publications : "Une passionnante philosophie traverse ce manifeste de huit pages en l'honneur des statistiques régionales. On voit l'étiologie humaine et animale s'y placer en aval d'une chaîne de descriptions physiques, économiques et sociales"⁴, résume Jean-Claude Perrot. En effet, "La Société a senti combien il seroit important d'avoir un plan topographique & médical de la France, dans lequel le tempérament, la constitution & les maladies des habitants de chaque province ou canton seroient considérés relativement à la nature & à l'exposition du sol"⁵. Elle dresse même le plan type des topographies médicales, auquel se soumettront — plus ou moins dans les faits — les auteurs :

"1°. La nature du sol, & indiquer s'il est sablonneux, pierreux, argilleux, sec ou humide ; si en fouillant, on y trouve des mines, quelle est la nature & quelles sont les couches que l'on rencontre en creusant à une certaine profondeur.

"2°. Quelle sa longitude & sa latitude, quelle est son exposition en général & quelle est sa hauteur relativement au niveau de la mer [...].

¹. GEOFFROY, "Constitution des années 1782 & 1783, avec le détail des maladies qui ont régné pendant ces deux années, à Paris", *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 1-3.

². Simultanément en Allemagne, en Angleterre, aux Etats-Unis, se développent des approches similaires. L. J. JORDANOVA, "Earth science and environmental medicine : the synthesis of the late Enlightenment", in : JORDANOVA, PORTER (eds.), *Images of the earth : essays in the history of the environmental sciences*, Bucks : British Society for the History of Science, 1979, pp. 119-146.

³. MENURET de CHAMBAUD, *op. cit.*, Paris, 1786, p. 7.

⁴. J. C. PERROT, *L'âge d'or de la statistique régionale française (an IV-1804)*, Paris : Société des Etudes Robespierriennes, 1977, p. 12.

⁵. "Préface", *H.M.S.R.M.*, 1776, p. xiv.

"3°. Quels sont les vents qui y dominant [...].

"4°. On dira si c'est un pays de montagnes ou de plaines ; s'il est coupé par des fleuves ou par des rivières ; quelle est leur direction & si elles sont sujettes à des inondations. Y trouve-t-on des étangs, & le terrain est-il couvert de forêts ? y a-t-il des marais qui se dessèchent en été, & en sort-il des exhalaisons putrides ?

"5°. Quelle est la qualité des eaux qu'on y boit ; leurs sources sont-elles abondantes [...] ? y en a-t-il de minérales [...] ?

"6°. [...] on observera si le ciel est serein ou nébuleux, si les orages y sont fréquents, si l'on y voit beaucoup de brouillards, s'ils ont de l'odeur & dans quelle saison ils en ont le plus. [...]

"7°. Les pluies sont-elles abondantes, ou régulières, & quel rapport ont-elles avec les autres météores ?

"8°. Quelles sont les plantes potagères ou médicinales qui y croissent, la force de la végétation y est-elle considérable ? [...]

"9°. Quels sont les grains que l'on y cultive [...] ; quelles sont les maladies de ces grains, & à quoi les attribuent-on ?

"10°. On feroit connaître le tempérament des habitants, leur manière de se nourrir & de se vêtir, leurs habitudes & leurs mœurs, leurs occupations, la construction de leurs maisons, les maladies les plus ordinaires aux enfans, aux hommes, aux femmes & aux filles. On dira si ces dernières sont réglées de bonne heure & à quelle époque elles cesse de l'être. On fera une attention aux maladies particulières dont certains ouvriers sont principalement affectés.

"11°. [...] quelles sont les espèces d'insectes les plus communes [...] quels sont les autres animaux qu'on y rencontre. On insistera principalement sur ce qui concerne les bestiaux"¹.

On le voit, il s'agit de mener une analyse détaillée et exhaustive des rapports de l'homme et de son environnement, une analyse qui prend en compte tous les éléments de cet écosystème et juge de leurs répercussions sur l'habitant en santé et en maladie, là où la constitution médicale ne s'arrête finalement qu'au lien entre le temps qu'il fait — ces "qualités des saisons & de l'atmosphère qui occasionnent différentes altérations dans les humeurs"² — et les maladies des hommes et demeure descriptive et curative à court terme. Aussi, si la *théorie des climats* est une vieille idée conservatrice qui appartient à la culture classique — "La véritable origine de la théorie des climats, nous devons la chercher dans la sagesse millénaire qui ne propose d'autre remède aux maux des hommes que l'acceptation de l'inévitable"³, écrit Ehrard —, la topographie médicale, surtout lorsqu'elle est urbaine, et elle l'est souvent, se veut explicative.

¹. *Ibid.*, pp. xiv-xviii.

². "Extrait d'un mémoire rédigé par M. Perkins, Médecin de Boston, sur la nature & l'origine des fièvres catharrales épidémiques, & remis à la Société par M. Franklin", *H.S.R.M.*, 1776, p. 207.

³. EHRARD, *L'idée de nature (...)*, *op. cit.*, vol. 2, p. 694.

La littérature a généralement fait l'amalgame des deux approches, en les liant au néo-hippocratismes de ce temps¹. Cette opinion est pour partie justifiée, dans la mesure où constitutions et topographies connaissent un formidable développement sous l'impulsion de la Société Royale de Médecine : nous ne reviendrons pas sur l'enquête météorologique lancée par Vicq d'Azyr dès 1776, elle a déjà fait l'objet d'un énorme travail de dépouillement et de synthèse publié voici vingt ans². D'ailleurs, aussi bien Jean Meyer — "Contrairement à un préjugé communément répandu, les grandes découvertes ne s'expliquent pas nécessairement par une vue nouvelle des problèmes"³ — qu'Emmanuel Le Roy Ladurie et Jean-Paul Desaive — "Les médecins [...] sont contemporains des «Lumières» ; pourtant, ils se comportent, dans les faits, comme des paysans de la thérapeutique"⁴ — reconnaissent le peu d'originalité des fondements de la démarche, et Jean-Pierre Peter sa portée à court terme : "Au demeurant, ce qui prime dans l'idée de constitution, c'est sa dimension historique. Dimension bien modeste, à coup sûr : elle aligne et entrecroise des nœuds de circonstances. [...] Ce qu'elle retient, c'est la variation dans la trame des mois, la couleur éphémère du moment et du lieu"⁵. Mais ils ont par là même oublié les topographies médicales — le fonds d'archive qu'ils avaient à exploiter se suffisait à lui-même. Bernard-Pierre Lécuyer a, plus récemment, souligné que "les enquêtes médicales de la Société royale de médecine mettent en œuvre la même démarche environnementaliste appuyée sur la notion fondamentale de «constitution médicale» et sur la pratique très répandue des «topographies médicales»"⁶, mais il accorde à l'aérisme la place dominante⁷. Pourtant, l'air n'est pas toujours considéré comme la cause première.

En effet, si dans la première moitié du XVIII^e siècle,

1. J. MEYER, "Introduction : l'enquête de l'Académie de Médecine sur les épidémies, 1774-1794" [extrait de l'article publié dans les *A.E.S.C.*, juil.-août 1966, pp. 729-749], in : *Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIII^e siècle*, Paris : Mouton/Ecole Pratique des Hautes Etudes, 1972, p. 13 ; B. P. LECUYER, "L'hygiène en France avant Pasteur, 1750-1850", in : C. SALOMON-BAYET (ed.), *Pasteur et la révolution pastorienne*, Paris : Payot, 1986, p. 69.

2. *Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIII^e siècle*, Paris : Mouton/Ecole Pratique des Hautes Etudes, 1972.

3. MEYER, *loc. cit.*

4. E. LE ROY LADURIE, J. P. DESAIVE, "Le climat de la France (1776-1792) : séries thermiques", in : *Médecins (...)*, *op. cit.*, p. 24.

5. J. P. PETER, "Malades et maladies à la fin du XVIII^e siècle" [1^{ère} éd. in : *A.E.S.C.*, juil.-août 1967, pp. 711-751], in : *Médecins (...)*, *op. cit.*, p. 154.

6. LECUYER, *op. cit.*, p. 70.

7. *Ibid.*, p. 71.

"les Médecins ne considèrent les climats que par la température ou le degré de chaleur qui leur est propre [...] ; ce mot est pris par conséquent dans un sens beaucoup moins vaste que celui de région, pays, ou contrée, par lequel les Médecins expriment la somme de toutes les causes physiques générales ou communes, qui peuvent agir sur la santé des habitants"¹

— climat de la constitution —, un glissement se produit en partie sous l'impulsion de la Société Royale de Médecine, à tel point que le climat va se confondre avec la contrée : "la position du sol sur notre globe fixe l'étendue géographique des climats ; mais c'est son élévation, sa forme, le gissement de ses terres, les bois, les eaux qui se trouvent à sa surface, qui forment le climat médical."² — climat de la topographie. Cependant, ces deux définitions du climat vont cohabiter chez les médecins, l'élaboration de la seconde n'entraînant pas la disparition de la première dont nous montrerons la persistance au § I.2.1, b ("l'air humide et chaud rend mou").

Les facteurs locaux du climat

Les topographies médicales sont en premier lieu l'occasion d'une mise au point des vertus comparées des vents, jusque là souvent analysés de façon simpliste : pour les uns, le vent du nord est bénéfique, à l'opposé des vents du sud et de l'ouest, pour d'autres, seul le vent d'est est salubre³, confusion due à une généralisation abusive.

L'énorme *Collection d'observations sur les maladies et constitutions épidémiques* de la Normandie, due à Lepecq de la Cloture, publiée en 1778, approuvée par la Société Royale de Médecine, est l'occasion d'une brillante démonstration de micro-climatologie. Il est vrai que cet ouvrage se situe à la charnière entre *constitution* et *topographie*, mais Lepecq de la Cloture s'y réclame des topographies médicales prônées par la Société, et si le climat et les épidémies y dominent — "il nous paroît plus conforme à la Topographie médicale, que nous nous proposons de donner, de faire le partage de la Normandie en autant de contrées qu'on peut y appercevoir de climats différens, dont chacun pourroit

¹. *Encyclopédie* (...), t. III, Paris, 1753, art. "Climat", rédigé par d'Alembert.

². BRIEUDE, "Topographie médicale de la Haute-Auvergne", *M.S.R.M.*, 1782-1783, p. 259.

³. JACQUIN, *op. cit.*, pp. 32-33.

avoir ses maladies endémiques particulières"¹ —, l'ampleur du travail est telle que la topographie y a sa place.

Après la traditionnelle description des vents dominants : celui du nord qui "est le plus salubre des vents selon Hippocrate [...] il condense les corps, affermit les fibres, nous rend plus agiles, plus vigoureux, & fortifie le tempérament de nos habitants"², comme souvent opposé à celui du sud qui "devient souvent au contraire l'ennemi de notre santé, de la végétation même"³, puisque, lorsqu'il ne rend pas malade, "il affoiblit, il abat le courage, il énerve les corps animaux"⁴, Lepecq de la Cloture observe, pour chaque contrée qu'il a isolée, les mouvements de l'air, affirmant même que "les intempéries sont plus fréquentes dans les Villes, dont la population est nombreuse, que dans les Campagnes"⁵. Ainsi la ville de Rouen, dont les "environs sont rians, agréables [...]". Mais son enceinte est triste, étouffée"⁶, est-elle coincée entre la Seine au sud et les montagnes au nord : de là son exposition aux vents méridionaux et au soleil, "qui retient le Thermomètre plus haut dans les portions de la Ville qui sont à l'abri"⁷, soleil dont l'action est renforcée par "la nature du sol de la Ville, des montagnes voisines & celui de la plaine dont elle reçoit le courant le plus considérable."⁸ Les vallons qui sillonnent les montagnes ne parviennent pas à rafraîchir la ville : ils "pourroient établir de foibles courans du Nord, si les fossés, les remparts ne leur offroient en quelque sorte une nouvelle barrière, une demi-côte, sous laquelle la Ville se trouve cachée."⁹ Et si "du Septentrion naît, en premier lieu, un vent absolument inévitable, qui dépend du mouvement de vibration ou d'attraction que l'athmosphère d'une Ville concave, échauffée du matin au soir dans les beaux jours, communique à la masse qui touche la cime de nos montagnes"¹⁰, celui-ci ne fait que glisser sur la ville sans y pénétrer. Un rafraîchissement s'opère néanmoins, grâce à la Seine, soumise aux marées donc en mouvement, à la forêt

¹. LEPECQ de la CLOTURE, *Collection d'observations sur les maladies et constitutions épidémiques* (...), Rouen, 1778, pp. 9-10.

². *Ibid.*, p. 14.

³. *Ibid.*, p. 18.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, p. 33.

⁶. *Ibid.*, p. 212.

⁷. *Ibid.*, p. 220.

⁸. *Ibid.*, p. 221.

⁹. *Ibid.*, p. 214.

¹⁰. *Ibid.*, p. 222.

de Rouvray, à ces vallons que nous avons évoqués lorsque leur cours n'est pas intercepté par les constructions.

Les conditions météorologiques propres à cette région sont donc accentuées à Rouen : la chaleur est rendue excessive par la géographie du lieu comme par "La quantité de maisons amoncelées, d'où s'exhalent continuellement des vapeurs que produisent des feux, en nombre prodigieux, & une multitude de corps vivans"¹ ; l'humidité par le voisinage de la Seine, la distribution de la ville, les matériaux de construction (plâtre notamment), la mal-propreté générale, "mille autres causes sont capables d'y attirer l'humidité, de l'y fixer dans les temps pluvieux, de la rendre plus durable & plus froide ; d'attirer encore les brouillards, de les conserver plus long-temps, sur-tout dans certains quartiers"². Les facteurs naturels et anthropiques s'imbriquent dans ce décryptage des vicissitudes du climat. Finalement,

"Un des meilleurs conseils, & le plus général que nous puissions donner à nos Concitoyens, pour éviter les intempéries locales de leur Ville, c'est de sortir souvent de ses murs, & d'aller de temps en temps respirer l'air plus frais & plus sain des montagnes voisines ; d'y rester quelques heures exposés à l'action des vents qui y règnent : ils trouveront ainsi un remède assuré contre l'intempérie dominante qui semblera les respecter."³

La très intéressante topographie médicale de Marseille, réalisée par Raymond, prouve que le vent du nord n'est pas toujours bénéfique :

"Si cette région est tempérée par l'intensité de la chaleur, elle ne l'est pas par le degré d'humidité. La sécheresse y domine, tant par la continuité du vent de nord-est ; qu'à raison de l'état pierreux & sablonneux du sol peu revêtu d'arbres [...] ; le roc & le sable s'échauffent à la superficie jusqu'à soixante degrés dans l'été, au lieu qu'un terrain couvert d'arbres & de gazon reste tempéré au milieu des ardeurs de la canicule. Le grand nombre de fabriques à feu contribue à dessécher l'atmosphère dans la ville, & la réflexion des rayons du soleil, multipliée par des montagnes nues & par des murailles sans fin qui découpent en tout sens le territoire, a part au même effet ; c'est ce qui rend l'évaporation excessive."⁴

¹. *Ibid.*, p. 225.

². *Ibid.*, p. 227.

³. *Ibid.*, p. 281.

⁴. RAYMOND, "Mémoire sur la topographie médicale de Marseille & de son territoire ; & sur celle des lieux voisins de cette ville", lu le 31 déc. 1779, *M.S.R.M.*, 1777-1778, pp. 83-84.

Mais à quelque chose malheur est bon : "Les saisons n'excédant que par l'intempérie sèche, & un sol pierreux & sablonneux ne fournissant que très-peu d'exhalaisons, les maladies, spécialement les aiguës, ne peuvent être fort répandues."¹

Enfin, contre l'idée si souvent admise qu'il faut ouvrir au nord et fermer au sud, Raymond préconise de "tirer les rues du levant au couchant"². Les plantations, d'arbres comme de gazon et de plantes aromatiques, permettront de ralentir le vent du nord-ouest, et de rafraîchir l'air.

A Bordeaux, où les vents d'ouest et de sud-ouest sont dominants, le vent du nord est aussi condamné : il cause "des gelées, même dans le mois d'août. [...] L'excessive sécheresse qu'occasionne ce vent, jointe à la froidure, fait des impressions très-vives sur le corps humain"³, alors que "le plus sain de tous les vents est celui d'est ; il rend l'atmosphère pure, le ciel serein & l'air tempéré, sans trop de sécheresse ni d'humidité."⁴ A la clémence des météores se joint l'influence bénéfique de la marée et des *torrents d'air* qu'elle entraîne, comme l'assèchement des marais qui a permis la disparition de la peste.

En Haute-Auvergne, c'est l'occasion de s'interroger sur le rôle climatique des montagnes : "indépendamment de l'obstacle que les montagnes mettent au mouvement des nuages, elles les attirent d'une manière qui m'est inconnue."⁵ écrit Brieu de dans sa topographie médicale de cette région, ajoutant : "Tout pays élevé étant propre à retenir les vapeurs, il doit pour cette raison être abondant en sources."⁶

Le peuple

La topographie médicale n'oublie pas les hommes ; elle ne se contente pas de décrire les maladies qui les assaillent en recherchant les causes directes dans les conditions naturelles, elle y ajoute les conditions sociales. Si l'on rencontre des affirmations pleines de mauvaise foi — ainsi, du paysan auvergnat : "La misère dans

1. *Ibid.*, p. 128.

2. *Ibid.*, p. 130.

3. BETBEDER, "Topographie médicale de Bordeaux" (faux titre), *H.S.R.M.*, 1776, p. 191.

4. *Ibid.*, *loc. cit.*

5. BRIEUDE, *op. cit.*, p. 280.

6. *Ibid.*, p. 281.

laquelle il vit le rend libre : en s'habituant à toutes les privations, il est heureux."¹ —, la condition du peuple est généralement évoquée par opposition à celle des possédants : la Normandie,

"dont le sol très-fécond & riche en différentes productions, peut compter un grand nombre de Propriétaires [...]. Mais le Peuple, ce Peuple nombreux qui n'a que ses bras en propriété, est exposé à la misère dans la proportion que le terrain augmente en valeur, parce que le prix des denrées en devient nécessairement plus excessif ; & son industrie seule lui fournit les nécessités de la vie."²

La situation est inverse en Sologne — "une contrée mal-saine, & qui semble à bien des égards disgrâciée de la nature"³ — dont les habitants peuvent être divisés :

"en trois classes, savoir, une de gens aisés, une de métayers & une de journaliers. Ceux de la première, qui est la moins nombreuse, vivent bien & à bon marché ; parce que plus un pays est pauvre, moins les vivres y sont chers. Ils paroissent en général aussi bien constitués qu'ailleurs ; cependant j'ai cru appercevoir dans leur figure une teinte de jaune"⁴.

Mais les métayers sont très pauvres, n'ayant "que la moitié de ce qu'ils récoltent & de ce que produisent les bestiaux"⁵, et se nourrissent uniquement de pain pendant une grande partie de l'année. La condition des journaliers est encore pire : leur pain est de sarrasin, d'un peu de seigle et de son. Dans les fermes, tout le travail est fait manuellement, c'est à la fois un bien — que deviendraient les journaliers débauchés par une rationalisation du travail ? —, et un mal — la terre nourrit difficilement tout ce monde.

Au statut social correspond un mode de vie⁶, voire une constitution physique, comme à Montauban où "on peut reconnoître trois espèces de tempéramens [...], le

¹. *Ibid.*, p. 301.

². LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 39.

³. TESSIER, "Mémoire sur la Sologne", lu le 30 déc. 1777, *M.S.R.M.*, 1776, p. 72.

⁴. *Ibid.*, p. 68.

⁵. *Ibid.*, p. 69.

⁶. "Les Citoyens de Rouen doivent être considérés, à raisons de leurs habitudes relatives, & distingués en trois classes principales : la Magistrature, le Commerce & le Peuple." LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 267.

sanguin, le bilieux & le pituiteux. Le premier se trouve chez les riches de tout état ; le second chez les artisans, & le troisième dans le bas peuple."¹

A Marseille les négociants se distinguent de "trois rangs subalternes dans la classe de l'industrie mécanique, celui des artisans, des pêcheurs, des paysans. Ces ordres de citoyens, pourvus de peu d'idées, sont principalement malades par excès de travail, par les intempéries de l'air, & moins par la qualité des alimens, que par le manque du nécessaire"², il faut y ajouter les maladies spécifiques des artisans, dont les conditions de travail décrites par Brieu de sont généralement mauvaises, qu'il s'agisse des tanneurs, corroyeurs, pelletiers — "l'atmosphère qui les environne est un cloaque de putridité, qui infecte & pénètre leurs humeurs"³—, des tisserands qui "ont leurs métiers établis dans des rez-de-chaussée qui sont bas, & d'autant plus humides qu'ils ne sont point pavés : l'air s'y renouvelle difficilement. En y entrant, l'odorat est frappé par les exhalaisons huileuses [...]. Ce mélange d'humidité & de particules huileuses, dans un air stagnant, forme une atmosphère détestable & méphitique"⁴, des teinturiers — "l'atmosphère chaude & humide [...], les exposerait à des maladies particulières, quand elles ne seroient pas chargées des exhalaisons nuisibles qui sortent des mordans & des matières colorantes qu'ils emploient."⁵

En effet, selon les termes de Foucault, "l'apparition d'une politique de santé doit être rapportée aussi à un processus beaucoup plus général : celui qui a fait du «bien-être» de la société un des objectifs essentiels du pouvoir politique"⁶.

La ville

Excepté de rares cas où la description de la ville tient du dithyrambe — si Lepecq de la Cloture est sévère avec Rouen, il est ébloui par Caen (où il exerce), "une des plus belles Villes de France"⁷ malgré son atmosphère humide ; au sujet de Nancy, sa ville, Jadelot écrit "il y a peu de grandes villes qui réunissent les avantages dont celle-ci jouit.

¹. CAZE, LA CAUSSADE, "Topographie médicale de Montauban" (faux titre), *H.S.R.M.*, 1776, p. 201.

². RAYMOND, *op. cit.*, p. 126.

³. BRIEUDE, *op. cit.*, p. 327.

⁴. *Ibid.*, pp. 329-330.

⁵. *Ibid.*, p. 330.

⁶. FOUCAULT, "La politique de la santé au XVIII^e siècle", in : *Les machines à guérir : aux origines de l'hôpital moderne*, Bruxelles : Mardaga, 1979, p. 9.

⁷. LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 375.

[...] il est constant que les épidémies sont rares"¹ —, l'image de la ville dans la topographie médicale est négative, comme elle l'est souvent dans la littérature de ce siècle² et plus généralement dans la tradition judéo-chrétienne. En effet, la dégradation y est physique et morale, l'un n'allant pas sans l'autre chez Lepecq de la Cloture :

"C'est spécialement dans les Villes, où l'on seroit tenté de croire qu'en s'établissant en société, l'Homme ait voulu prendre le soin d'écarter de lui les véritables douceurs d'une simple sociabilité : c'est, dis-je, dans ces vastes Cités qu'il faut le suivre, & le voir adouci, civilisé ; mais affoibli, mais esclave des bienséances, des usages & de l'opinion, pour calculer ensuite jusqu'où la saine constitution peut être dégénérée dans le Moral comme dans le Physique. [...] les abus dans l'usage des six choses non naturelles, comme la source la plus féconde des maladies qu'on éprouve au milieu des Cités"³.

Le commerce est florissant à Marseille, mais Raymond lui reproche de développer la cupidité, le goût du luxe, vice importé de la capitale. "Ces sentimens étroits & froids étouffent la bienfaisance, & il en résulte l'accroissement de la misère du peuple, la dépravation de l'espèce pour le physique & le moral, & les maladies, sur-tout les maladies lentes."⁴

Les chiffres le prouvent : si la longueur de la vie commune est d'un peu plus de vingt-cinq ans pour la ville et le territoire phocéén, elle n'est que de vingt-deux ans dans la ville seule et atteint trente-huit ans pour le territoire. Le verdict de Raymond est sans appel ; puisque le climat est le même dans toute la région, "l'état physique de la ville, qui renferme une atmosphère impure & point assez renouvelée, & principalement son état moral [...], abrègent la vie commune de ses habitans de 16 ans. Cette abréviation doit être encore plus grande si l'on fait attention que la pureté des mœurs & la facilité de la subsistance sont bien loin de leur perfection à la campagne."⁵

Mais le foyer de tous les vices demeure par excellence la capitale, "cette immense ville dont l'influence malade a tant d'étendue & d'effets."⁶ Paradoxalement, les topographies médicales de Paris sont tardives : la première en 1786 est due à Menuret de

¹. JADELOT, "Mémoire sur la Lorraine", *M.S.R.M.*, 1776, p. 96.

². FAVRE, *op. cit.*, pp. 315-331, 402-404.

³. LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 26. Les six choses non-naturelles sont définies p. 102.

⁴. RAYMOND, *op. cit.*, p. 100.

⁵. *Ibid.*, pp. 116-117.

⁶. MENURET de CHAMBAUD, *op. cit.*, pp. 8-9.

Chambaud¹, une deuxième, de peu d'intérêt, est publiée en l'an II par Joseph-Marie Audin-Rouvière², et une troisième, enfin, en 1822 par Claude Lachaise³. Celle de Menuret de Chambaud n'est pas inintéressante, mais Lachaise lui reproche à juste titre ses digressions et son retard scientifique : Menuret de Chambaud "semble se complaire à n'employer que le vieux langage de la médecine, et à se tenir constamment beaucoup au-dessous de l'état de la science"⁴ ; s'il est au fait des travaux de Lavoisier, son raisonnement est tout imprégné de phlogistique.

Celle de Lachaise n'est pas, dans l'esprit, très différente bien que plus de trente ans les séparent, mais le souci de précision qui la dirige la rend plus précieuse. Cependant, malgré une volonté d'analyse de tous les éléments du biotope, Menuret de Chambaud reste très attaché à la constitution de l'air (chaud, froid, sec, humide), voyant dans les météores la source de tous nos maux : "on a pu quelquefois suivre de l'œil des nuages épais, amoncelés, formant des espèces de globe enflammé, qui vomissoient en s'ouvrant, comme par une forte explosion, l'infection, la maladie & la mort dans des contrées fort étendues"⁵, alors que Lachaise introduit son chapitre consacré à la constitution médicale parisienne avec prudence : "ne serait-ce pas néanmoins céder à une prévention aussi exagérée qu'irréfléchie, que de croire qu'on doive exclusivement aller chercher, et qu'on rencontrera constamment dans les constitutions météorologiques, la cause des maladies qui sévissent, d'une manière générale, à certaines époques de l'année."⁶ En outre, leurs analyses de la capitale comportent une distinction majeure : si, pour Menuret de

¹. Qui propose, en 1791, "d'affecter les revenus ecclésiastiques à l'entretien des médecins qui pourraient alors soigner gratuitement les pauvres." LÉONARD, *op. cit.*, p. 17.

². J. M. AUDIN-ROUVIERE, *Essai sur la topographie physique et médicale de Paris* (...), Paris, an II. Basée sur l'analyse des six choses non-naturelles, cette topographie médicale donne des informations de peu de précision et semble souvent inspirée de la précédente. Par ailleurs, il émet la curieuse opinion selon laquelle : "Les exhalaisons de la terre, celles de la rosée, qui est le suc des plantes, une espèce de baume volatil, celle des fleurs qui ne sont jamais si sensibles qu'au lever de l'aurore, sont autant de causes qui donnent à ceux qui jouissent de l'air de la campagne, dans ces différentes circonstances, un principe de vie" (p. 17), à une époque où la rosée et l'air matinal sont généralement fort craints.

³. C. LACHAISE, *Topographie médicale de Paris* (...), Paris, 1822. On pourra nous reprocher d'avoir traité du texte de Lachaise dans une partie consacrée au siècle des Lumières. Cependant, cette topographie médicale ne peut trouver sa place qu'ici, dans la mesure où elle est basée sur l'analyse des six choses non-naturelles (voir p. 102) et respecte en grande partie le plan proposé par la Société Royale de Médecine.

⁴. *Ibid.*, p. 16.

⁵. MENURET de CHAMBAUD, p. 59.

⁶. LACHAISE, *op. cit.*, p. 304. Outre quelques éléments descriptifs de la ville, c'est ici le seul indice qui distingue théoriquement le texte de Lachaise des textes du XVIII^e siècle.

Chambaud, "par sa nature, l'air de ce pays seroit très pur"¹, les observations météorologiques (température, nébulosité, pluie, vents — pour ces derniers, le tableau 17 montre la finesse des observations de Lachaise) sont, d'après Lachaise, "peu favorables pour le climat de Paris"².

Tableau 17. Distribution des vents à Paris (1822).

(Pour chaque mois, nombre de jours où le vent a soufflé dans telle direction)

	N	NE	NO	S	SE	SO	E	O
janvier	6	5	3	2	2	5	4	4
février	5	3	3	4	1	6	3	4
mars	6	6	3	4	1	5	4	3
avril	6	5	4	2	1	4	3	4
mai	6	7	4	3	5	5	3	4
juin	6	5	5	2	1	4	2	6
juillet	6	4	5	2	1	5	2	6
août	5	6	5	2	0	4	3	5
septembre	4	5	3	4	1	5	4	4
octobre	4	3	4	5	1	7	2	5
novembre	4	4	4	3	1	6	3	4
décembre	4	4	3	5	1	5	3	5
total	62	57	46	38	16	61	36	54

D'après : C. LACHAISE, *Topographie médicale de Paris (...)*, Paris, 1822, p. 42.

Elles ne sont d'ailleurs pas seules en cause :

"La salubrité du lieu ou la fertilité du sol ne furent assurément pas les considérations auxquelles cédèrent les premiers hommes qui se fixèrent ici ; que pouvaient, en effet, leur offrir d'avantageux, sous ces deux rapports, une île fangeuse de cinq cents toises environ de longueur, entourée de toutes parts de marais, de montagnes et de forêts, un terrain qui, malgré un grand nombre de siècles d'une culture soignée, n'a pas cessé d'être ingrat ? N'est-il pas plus vraisemblable qu'ils furent séduits par les avantages que leur présentait la Seine"³,

¹. MENURET de CHAMBAUD, *op. cit.*, p. 28. Même opinion de la part d'Audin-Rouvière (*op. cit.*, p. 14) : "La situation ancienne de Paris étoit avantageuse", son "air pur et salubre", mais la croissance urbaine a entraîné une dégradation, variable suivant les quartiers, de ces conditions naturelles favorables.

². LACHAISE, *op. cit.*, p. 43.

³. *Ibid.*, p. 106.

fleuve qui contribue malgré tout à la salubrité de l'air.

Les deux médecins s'accordent néanmoins sur la part anthropique des météores, "cette cloaque atmosphérique dans laquelle on nâge & on respire"¹ car "la transpiration de Paris est sensible"², mais inégalement répartie :

"Cette vapeur habituelle qu'on distingue aisément des buttes Montmartre et Chaumont, pendant la clarté des beaux jours, est d'autant plus forte que les quartiers auxquels elle correspond, sont plus peuplés ; elle est moindre à l'est qui correspond au faubourg Saint-Antoine dont la largeur des rues principales établit de vastes courans d'air, qui hâtent sa dispersion ; et elle est à peine perceptible vers le nord-ouest qui correspond à la Chaussée-d'Antin"³.

A la topographie naturelle du lieu, qui divise déjà Paris en plusieurs *climats* : "sur la rive droite de la Seine, la ville est abritée au nord, au nord-est et à l'est ; sur la rive gauche, au sud, au sud-ouest et à l'ouest ; laissant ainsi dans la direction du sud-est au nord-ouest, qui est celle du bassin de la Seine, un horizon vaste et découvert"⁴, s'ajoutent des facteurs anthropiques. Le douzième arrondissement (quartiers Saint-Jacques, Saint-Marcel, du jardin du Roi, de l'Observatoire) "a, de tout temps, été regardé comme la partie la moins salubre ; car des causes d'infection propres à quelques-unes de ses parties, et dépendantes aujourd'hui des localités elles-mêmes, ont influé sur la salubrité de plusieurs autres points que leur position semblerait d'ailleurs devoir placer dans des circonstances plus favorables."⁵ Le coupable est l'artisanat fixé sur la Bièvre.

Le sol

Les topographies médicales tiennent compte du sol, comme l'avait prescrit la Société Royale de Médecine en 1776. Nous avons vu comment à Rouen ou à Marseille il peut jouer sur le climat ; mais le sol productif, rural, est aussi apprécié suivant son aptitude à la culture : "La terre labourable du Vexin est une terre forte, d'un jaune noirâtre, assez dense, douce au toucher, qui devient facilement meuble ; en un mot, de la meilleure qualité pour lesensemencemens : elle prend d'ordinaire plus de trois pieds de profondeur

¹. MÈNURÈT de CHAMBAUD, p. 29.

². LACHAISE, *op. cit.*, p. 46.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. *Ibid.*, p. 28.

⁵. *Ibid.*, pp. 187-188.

avant l'argille, & n'a pas besoin d'une grande quantité de fumier, pour être fertile en bleds"¹ ; a la base ouest des Monts-d'Or, "on trouve la couche végétale assise sur un terrain sablonneux & rougeâtre, tandis qu'elle est, au contraire, noirâtre, peu compacte & très-légère. La pluie la boursouffle, & la gelée y occasionne un retrait considérable, de sorte qu'elle est de très-mauvaise qualité & de peu de produit."² ; on pourrait multiplier les exemples, qui montrent cette capacité d'observation du médecin. En effet, c'est le sol qui fixe les productions de la terre, donc l'alimentation, une des *six choses non-naturelles*³.

Aux abords de la ville, ses qualités sont altérées, en bien ou en mal. Pour Lepecq de la Cloture, les urbains

"courent encore les risques d'un inconvénient, commun à tous les lieux, mais certainement plus répété dans les Villes ; c'est une altération qui prend son origine dans l'état accidentel, mais vicieux, de l'air & du sol, qui n'agit sur l'espèce humaine, que médiatement & par le moyen des denrées, qui ont été élevées & nourries dans ce sol & cet air corrompu. Ainsi souvent les épidémies y dépendent des alimens de nécessité première [...]. Quelquefois donc le pain peut devenir un vrai poison, sans que la méchanceté y ait part, mais par des altérations naturelles..."⁴

En revanche, pour Lachaise, "l'agriculture a su trouver une source naturelle et inépuisable de fécondité dans cette quantité prodigieuse de fumiers et de boues ferrugineuses que fournit la ville"⁵, la terre des environs de Paris étant de mauvaise qualité.

Enfin, à l'intérieur de la cité, le sol devient inutile mais généralement pernicieux. Cette "fange noirâtre, gluante et toujours épaisse de plusieurs pieds"⁶ qui se forme sur les bords de la Bièvre, dans Paris, si on l'excite, "devient la source de ces fièvres dites intermittentes pernicieuses, des affections scrofuleuses et scorbutiques, qui [...] sont comme endémiques dans quelques points des différens quartiers que nous décrivons."⁷

¹. LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 75.

². BRIEUDE, *op. cit.*, p. 262.

³. Définies p. 102.

⁴. LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 33.

⁵. LACHAISE, *op. cit.*, p. 84.

⁶. *Ibid.*, p. 198.

⁷. *Ibid.*, p. 199.

Une écologie urbaine ?

L'ambition de la Société Royale de Médecine, ce "véritable réservoir d'idées biopolitiques"¹ n'a peut-être pas été atteinte : la vaste synthèse dont elle rappelait sans cesse la nécessité n'a pas vu le jour. Pourtant, l'engouement est réel de la part des médecins, ou des érudits : la Société publie régulièrement la liste des topographies médicales qu'elle a reçues ; le tableau 18 en montre l'abondance. Il nous semble qu'il y a beaucoup à apprendre de ces travaux : d'une part, ils nous renseignent sur l'état de la France au tournant du XVIII^e siècle, le volume des informations qu'ils contiennent formant un patrimoine qualitatif et quantitatif non négligeable, même si l'on peut émettre quelques réserves, à l'instar de Jean-Claude Perrot qui souligne que "cette statistique se satisfait d'être une somme de connaissances, l'idée naïve que «les faits parlent d'eux-mêmes» l'habite et la met en danger de refléter seulement la rhétorique et les idées reçues de son temps"². Mais on ne peut que souscrire à l'émerveillement de J. P. Peter — "Qui voudrait faire un voyage fantastique, celui-ci ira plonger dans les archives anciennes de la Société Royale de Médecine."³

D'autre part, les topographies médicales sont l'ébauche — et parfois bien plus — d'une écologie humaine et urbaine agissante. Bien que Lachaise introduise son travail en affirmant :

"L'expérience de tous les siècles n'atteste-t-elle pas, en effet, que c'est dans les grandes villes que les agens de destruction s'accroissent, se multiplient et déploient toute leur funeste activité ? Mais les causes qui produisent ces grands maux sont indestructibles, puisqu'elles sont une suite inévitable de la réunion d'un grand nombre d'individus dans une étroite circonscription"⁴,

donnant un caractère inéluctable à la nocivité de la ville, son discours ne vise qu'à la corriger. La médecine s'oppose ici à l'architecture qui "semble, de tout temps, avoir tout sacrifié pour l'œil"⁵ et elle entend jouer pleinement son rôle. Le travail de Lachaise est, il est vrai, tardif, mais ce sentiment est présent dans la plupart des topographies médicales ; pour Madier, la ville de Bourg-Saint-Andéol a beau être des plus salubres, on est plus

1. LÉONARD, *op. cit.*, p. 13.

2. PERROT, *op. cit.*, p. 13.

3. PETER, *op. cit.*, p. 135.

4. LACHAISE, *op. cit.*, p. 11.

5. *Ibid.*, p. 125.

souvent malade dans les quartiers où règne la malpropreté ou qui en reçoivent les effluves : "Ce furent les réflexions que je communiquai à M. Pichot de Lespinasse, [...] maire de cette ville, [...] qui l'ont déterminé à faire transférer hors de la ville & au-dessous du vent, les cimetières qui étoient dans son enceinte, & à prendre tous les moyens possibles pour entretenir la propreté des rues. Il a en conséquence établi des balayeurs publics"¹.

On ne peut bien entendu oublier que cette volonté d'assainir correspond aussi à la diffusion d'un mode de vie bourgeois², de la révolution industrielle qui n'a que faire des artisans, à une perte de la sociabilité de l'espace commun³, à l'instauration d'un contrôle social par la maîtrise de l'espace⁴ : il n'est pas question pour nous d'afficher une admiration béate devant ces topographies médicales. Mais, comme dans le cas des cycles tropiques, on ne peut que penser à une vision écologique, qui se dilue par la suite.

¹. MADIER, "Mémoire sur la topographie médicale du Bourg-Saint-Andéol", *M.S.R.M.*, 1780-1781, pp. 129-130.

². CORBIN, *op. cit.*, 3e partie : "Odeurs, symboles et représentations sociales".

³. A. GUILLERME, "Medical topography, environment health and the rebuilding of Le Mans (1785-1794)", communication à la conférence annuelle de la Society for the Social History of Medicine, *Environmental health*, Bristol, 6-8 juil. 1984, p. 5.

⁴. FOUCAULT, "La politique de la santé au XVIIIe siècle", *op. cit.*, p. 13 ; et plus généralement : FOUCAULT, *Surveiller et punir : naissance de la prison*, Paris : Gallimard, 1975.

Tableau 18. Topographies médicales (1776-1862).

Lieu	Auteur	Date
Montélimard	Menuret de Chambaud	
Lorraine	Jadelot	1776
Sologne	Tessier	1776
Bordeaux	Betbeder	1776
Langon (Guyenne)	Graulau	1776
Castel-Joux (Guyenne)	Richard	1776
Montauban	Caze, la Caussade	1776
Champsaur	Villar	1777
Vosges	Didelot	1777
Marseille	Raymond	1777
Normandie	Lepecq de la Cloture	1778
Montmorency et environs	Cotte	1779
Nature et production du sol de Montargis	Gastellier	1779
Canton de Cusset en Bourbonnois	Desbrets	1779
Franche-Comté	France	1779
Arras et Artois	Retz	1779
Bourg-Saint-Andéol	Madier	1780
Saint-Diez (Lorraine)	Poma	1782
Clisson (Bretagne)	Boueix	1782
Meymac	Desfarges	1782
bailliage d'Orgelet	Guyétant	1782
bailliage de Mirecourt	Didelot	1782
paroisse de Royac	de Larbre	1782
Bressuire (bas-Poitou)	Berthelot	1782
Grenoble	Gagnon	1782
Toulouse	Masars & Perolle	1782
Aligre	Pinet	1782
Vosges et Lorraine	Poma	1782
Franche-Comté	Jeunet	1782
Guadeloupe	Bertin	1782
Tarascon	Moublot-Gras	1782
Auxerre	Housset	1782
Lorraine allemande	de la Flize	1782
Etampes	Boncerf	1782
Lunéville et environs	Drouel	1782
Troyes	Dupont	1782
Mont-d'or	de l'Arbre	1782
Haute-Auvergne	de Brièude	1782
Lyon	Berthelet de Barbot	1783
Troyes	Picard	1784
ville et canton de Laigle	Terrède	1784
Vannes	Aubry	1784
Soultz (Hte-Alsace)	Beltz	1784
Provence	Raymond	1784
Neuf-Château (Lorraine)	Garnier	1784
Cotignac (Provence)	Gérard	1784
Sables d'Olonne	La Coudraye	1784
Chambéry	Daquin	1784

Lieu	Auteur	Date
Cette	Tudesc	1784
Lamballe	Delavergne	1784
Clermont-Ferrand	Delarbre	1784
Puy de Dome	Delarbre	1784
Baillage de Mirecourt	Didelot	1784
Saint-Saturnin (diocèse d'Apt)	Empereur	1784
Montauban	Moulet	1784
val de Miège	Besuchet	1784
Montaigu & paroisses circonvoisines	Richard de la Vergne	1784
Gueberviller (Hte Alsace)	Méglin	1784
Chaillé-lès-Marais et marais circonvoisins	Tillier	1784
Saint-Malo et canton du Clos-Poulet	Chifoliau	1784
Castelnaudary et environs	de Cossinière	1784
Cambrai et Cambresis	Trécourt	1784
partie couverte ou boréale du bas-Limousin	Lascoux Germignac	1786
Nolay (Bourgogne) et environs	Cattin	1786
côte maritime du diocèse de Montpellier	Amoureux fils	1786
diocèse de Léon (basse- Bretagne)	Gilbert	1786
Pont-à-Mousson	Gorcy	1786
plaine du Forez	Geny	1786
Gannat	Gerzat	1786
Bourbourg et Gravelines et env.	Tavernier	1786
La Calle	Ramel	1786
Paris	Menuret de Chambaud	1786
Nîmes	Vincent et Baumes	1802
Paris	Audin-Rouvière	an II
Paris	Lachaise	1822
Cusset (Allier)	Alex. Giraudet	1827
Cassel	P.J.T. de Smyttère	1828
Naples	J. P. Martinez	1834
Teste-de-Buch (Gironde)	F. A. Lalesque	1835
île Saint-Martin (Guadeloupe)	Miltiade Grall	1835
Paris, IVe arr	Bayard	1842
Paris, Xe, XIe, XIIe arr	Bayard	1844
Lyon	Monfalcon, Polinière	1856
Nancy	Simonin	1862
canton d'Ay	Plonguet	1862
Puy-de-Dôme	Bertrand	1862
Lille	Pilat (méd), Tancrez	1862
Marseille	S. C. Maurin	1862

I.1.3. UTILITARISME

"la boue [...] se forme toujours dans les lieux fréquentés ; des terres & menus platras que répandent le long de leur chemin les gravatiers, salpêtriers & plâtriers ; des ateliers de construction ; des crottins de chevaux, qui seuls en forment une grande partie dans les rues passagères ; enfin de la poussière, des cendres, suies & autres parties les plus menues balayures des maisons, qui étant placées le long des murs, sont éparpillées par les voitures & les pieds des passans, par les chiffonniers & ramasseurs de cendre : toutes ces ordures se mêlant avec l'eau des ruisseaux , & sur-tout avec ces eaux grasses qui proviennent des cuisines, forment cette boue infecte que la quantité considérable de fer qu'elle tient en dissolution, rend noire & si tachante, & qui, presque pendant toute l'année, couvre les rues de Paris".

J. H. RONESSE, *Vues sur la propreté des rues de Paris*, s.l., 1782, pp. 14-15.

Selon Corbin, le siècle de l'utilitarisme porte le numéro 19 — "A la différence de ce que l'on constate à propos du XVIII^e siècle déclinant, les occurrences les plus nombreuses du discours sur l'excrément concernent désormais le profit"¹ — ; pourtant il nous semble que ce n'est que jusqu'au XVIII^e siècle que le cycle urbain des matières fait l'objet d'une rentabilisation. L'évocation insistante du profit au XIX^e siècle en ce qui le concerne constitue selon nous le témoignage d'une inquiétude face aux dysfonctionnements du système pré-industriel qui se solde par l'avènement, au XX^e siècle, des stations d'épuration, la cité ne faisant plus que coûter à la collectivité². Outre les conséquences opérationnelles de cet état de fait — services techniques et impôts locaux —, on peut y voir un impact sur les savoirs et savoir-faire, avec la perte de la connaissance du milieu urbain qui en résulte.

L'élimination ou la réutilisation des résidus de toute nature est une des préoccupations majeures de la gestion du milieu urbain : la thèse de Jacques Bourgeois-

¹. CORBIN, *op. cit.*, p. 136.

². Cette question des dysfonctionnements sera traitée au chapitre III, § III.4 : "Dysfonctionnements".

Gavardin¹, les articles de Pierre-Denis Boudriot² dressent un tableau complet des déchets de Paris au XVIII^e siècle où les gadoues (urines et matières fécales), immondices (détritus domestiques), boues ("quasi endémiques dans la capitale" — "A pied c'est partout trop loin... ou trop sale, car à Paris c'est une boue indescriptible", s'exclame Mozart en 1778 —, alors que "Paris est considérée comme une des villes les mieux pavées d'Europe", mais elle est "d'autant plus boueuse qu'on y construit beaucoup"³), déchets d'origine artisanale (dont les plus infects sont issus des boucheries et activités dérivées : triperie et fonte des suifs)⁴ sont cause d'insalubrité, qu'ils soient rejetés à la Seine, à la Bièvre, au Grand-Egout, dans le sous-sol, ou amenés en voirie (la figure 20 montre la rareté des égouts parisiens à la fin de l'Ancien Régime). Néanmoins, la situation du nettoyage à Paris au XVIII^e siècle est diversement interprétée selon les historiens : le tableau dressé par Boudriot est plutôt négatif⁵, alors que Pierre Saddy pense que "les choix techniques et les dispositions réglementaires semblent avoir convenablement fonctionné pour régler l'évacuation des immondices que produisait incessamment la vie d'un demi-million d'habitants"⁶, exception faite des urines s'infiltrant dans le sol. Quoi qu'il en soit, dans la plupart des cas la solution passe par un recyclage des matières, en particulier pour l'amendement des terres agricoles et la production du salpêtre.

¹. J. BOURGEOIS-GAVARDIN, *Les boues de Paris sous l'ancien régime : contribution à l'histoire du nettoyage urbain aux XVII^e et XVIII^e siècles*, thèse de 3^e cycle, E.H.E.S.S., nov. 1985, 2 vol.

². P. D. BOUDRIOT, "Essai sur l'ordure en milieu urbain à l'époque pré-industrielle : boues, immondices et gadoue à Paris au XVIII^e siècle", *Histoire, économie et société* 5(4), 1986, pp. 515-528 ; "Essai sur l'ordure en milieu urbain à l'époque pré-industrielle : de quelques réalités écologiques à Paris aux XVII^e et XVIII^e siècles. Les déchets d'origine artisanale", *Histoire, économie et société* 7(2), 1988, pp. 261-281.

³. BOUDRIOT, "Essai (...) : boues, immondices et gadoues (...)", *op. cit.*, pp. 515-516. "Paris est certainement une des villes les mieux pavées de l'univers", s'exclame J. H. Ronesse, qui ajoute : "Cependant on se plaint ; et ce n'est pas sans fondement." J. H. RONESSE, *Vues sur la propreté des rues de Paris*, s. l., 1782, p. 17.

⁴. BOUDRIOT, "Essai (...) : de quelques réalités (...)", *op. cit.*, p. 262.

⁵. BOUDRIOT, "Essai (...) : boues, immondices et gadoues (...)", *op. cit.*

⁶. P. SADDY, "Le cycle des immondices", *XVIII^e siècle* 9, 1977, p. 212.

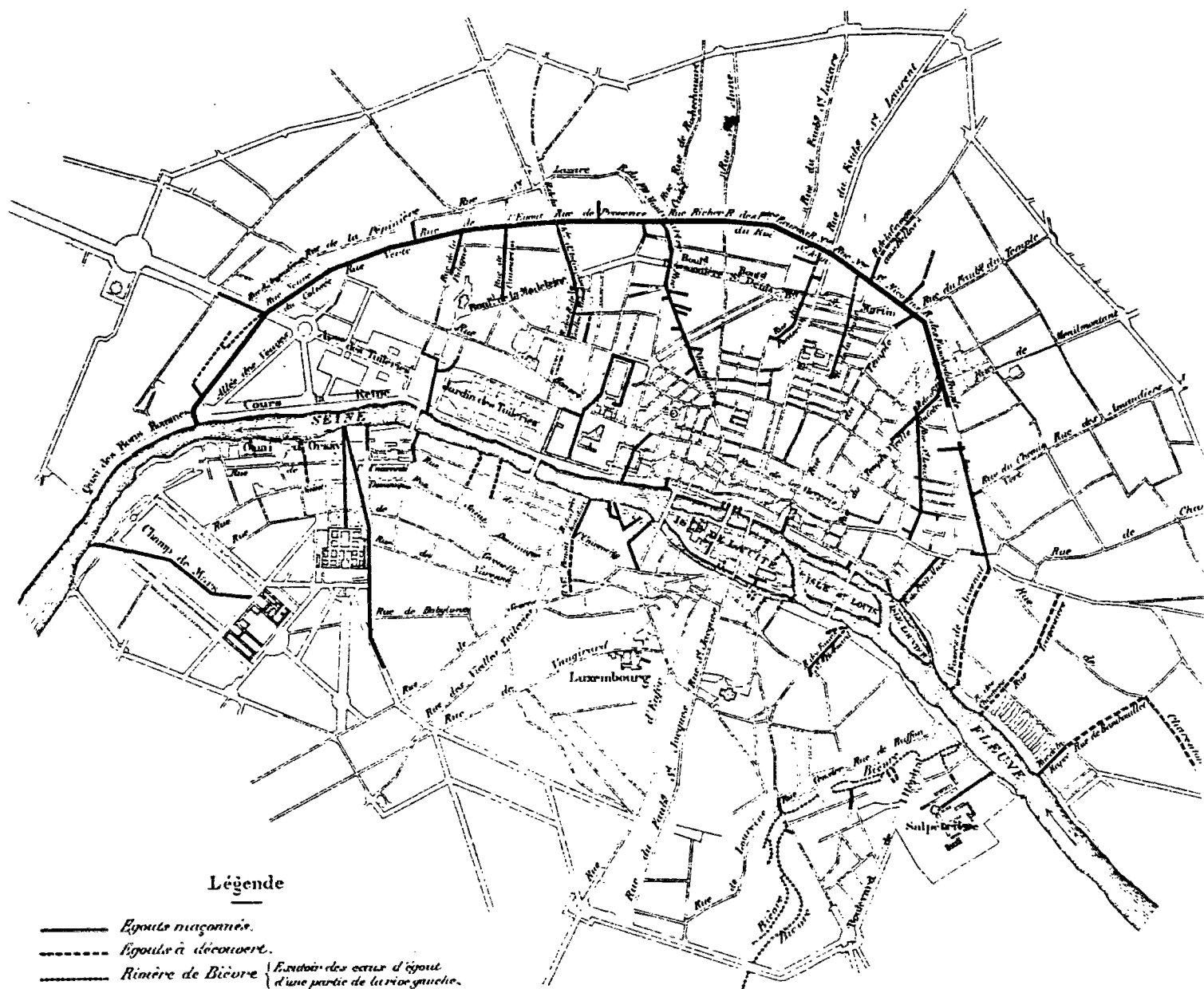


Figure 20. Les égouts de Paris en 1789.

Source : P. S. GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 3, Paris, 1843, pl. XVII.

a) *Poudrette*

La voirie, dont la forme enterrée semble prévaloir au XVIII^e siècle, selon Bourgeois-Gavardin¹, ne remplit pas complètement sa fonction de dessiccation des matières : le délai de trois ans avant utilisation des matières est rarement respecté² ; en outre, la puanteur ne diminue pas avec le temps et les agriculteurs n'ayant besoin de la vidange qu'au mois d'août, l'infection demeure toute l'année³. La voirie de Montfaucon, à Ménilmontant, devient au cours du XVIII^e siècle la seule voirie accueillant les matières putrescibles ; c'est sur celle-ci qu'était établi le grand gibet de Paris depuis 1300, il y restera jusqu'en 1790 (figure 21). La voirie, le gibet et le charnier sont déplacés en 1761, en raison des nombreuses plaintes qu'ils suscitaient et, surtout, de l'établissement du mur d'octroi. Ils demeureront "à 300 mètres de la barrière du Combat⁴, au pied de la butte Chaumont"⁵ jusqu'à la fermeture définitive de la voirie en 1848.

En 1788, diverses contestations amènent la Société Royale de Médecine à s'intéresser à la voirie de Montfaucon. Thouret donne un récit détaillé et précieux des opérations qui s'y mènent. La consécration du ventilateur⁶ par le rapport de Laborie, Cadet le Jeune et Parmentier — "combien n'est-il pas essentiel de proscrire pour la vidange [...], les méthodes sales, dégoûtantes & dangereuses dont on s'est servi jusqu'à présent, & de favoriser toutes celles qui peuvent diminuer les horreurs de cette opération !" ⁷, s'exclament Lavoisier, Fougereux et de Milly, louant ce rapport —, permet à la compagnie du même nom d'obtenir "la permission de vendre les matières fécales à son profit, à la charge d'entretenir la voirie"⁸. Celle-ci cède son droit à Bridet qui tente, dès 1784, l'exploitation en grand des matières en favorisant la dessiccation afin de produire la *poudrette*, forme commercialisée — Eugène Belgrand estime que l'engrais produit à Montfaucon rapportait 300 000 livres à Bridet qui payait à la ville une redevance

¹. BOURGEOIS-GAVARDIN, *op. cit.*, vol. 1, p. 103.

². BOUDRIOT, "Essai (...) : boues, immondices et gadoues (...)", *op. cit.*, p. 524.

³. THOURET, *Rapport sur la voirie de Montfaucon*, lu à la S.R.M. le 11 nov. 1788, Paris, s. d., p. 11.

⁴. Actuelle place du Colonel Fabien.

⁵. E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, p. 258.

⁶. Déjà popularisé par Hales au début du siècle. EHRARD, *L'idée de nature (...)*, *op. cit.*, vol. 2, p. 697.

⁷. LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER, *op. cit.*, p. 107.

⁸. THOURET, *Rapport sur la voirie de Montfaucon*, *op. cit.*, p. 2.

de 3 000 livres¹. La voirie comporte plusieurs bassins de décantation ; les plus élevés reçoivent les vidanges :

"Les matières solides & pesantes se précipitent au fond, où elles forment un sédiment de huit à dix pieds de hauteur ; au-dessus surnage le liquide, qui forme une couche de douze à quinze pieds, & qui est bientôt recouverte par un croûte de deux à trois pieds d'épaisseur, de matières solides, légères, qui s'élèvent à la surface où elles se durcissent à l'air."²

Lorsque la séparation est totale, les liquides sont évacués vers un bassin inférieur et on récupère les matières solides. "On étend ces matières [...] pour les sécher au soleil. On les fait retourner de temps en temps à la pelle, ou avec des herse conduites par des chevaux. [...] En trois ou quatre jours le dessèchement est complet."³ Les matières sont ensuite transportées dans un hangar ; la fermentation s'opère en quelques jours, la température pouvant s'élever jusqu'à 95°⁴, d'après les observations menées à Rouen où Bridet exploite déjà le procédé, comme à Caen. Le produit en est passé "à la claie pour en séparer les corps étrangers que l'on rejette, & les parties grossières que l'on soumet à l'action d'un moulin pour les broyer."⁵ On a ainsi obtenu la poudrette, ou poudre végétative, inodore. Le rapport de Thouret est plutôt favorable au procédé, qui permet à la fois une valorisation des déchets et une plus grande salubrité des installations, mais un problème de taille — qui ne sera jamais résolu — demeure : que faire des matières liquides extraites dans la première phase du traitement ? Les perdre dans le sous-sol, comme c'est actuellement le cas ? La corruption qui en résulte est bien trop dangereuse. "Reste l'évaporation"⁶, efficace si l'on s'y prend bien ; mais avant tout, "il seroit à désirer qu'on pût les employer à quelques usages économiques, tels qu'à la formation du salpêtre ou aux nitrières artificielles"⁷, nous dit Thouret. Plus tard, le trop-plein d'eau sera évacué vers le Grand-Egout, ou ruisseau de Ménilmontant, par une conduite de plomb.

¹. E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, p. 269.

². *Ibid.*, p. 4.

³. *Ibid.*, p. 5.

⁴. Soit environ soixante degrés centigrades.

⁵. *Ibid.*, p. 6.

⁶. *Ibid.*, p. 13.

⁷. *Ibid.*, loc. cit.

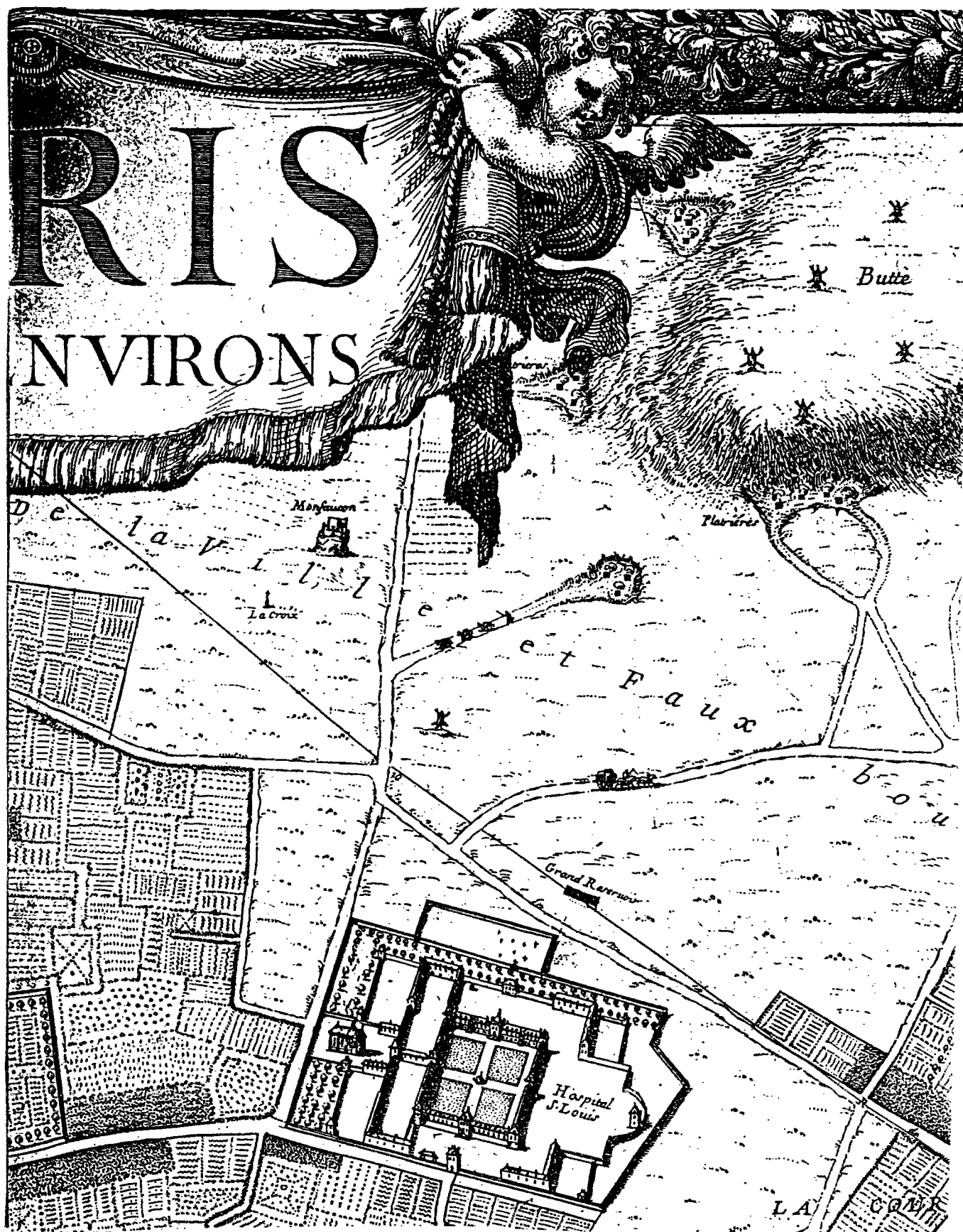


Figure 21. La voirie de Montfaucon à Ménilmontant.

Source : Extrait du *Grand plan de Paris et de ses environs* de Jouvin de Rochefort, représentant Paris vers 1675.

Montfaucon



b) Salpêtre

On peut nous objecter que le système de la poudrette ne valorise que les vidanges, ce qui est vrai. Mais il faut y ajouter une autre production urbaine, et des plus importantes, le salpêtre qui permet la fabrication de la poudre à feu, et repose sur une exploitation presque complète des résidus de la vie urbaine.

Depuis le XVI^e siècle il existe en effet un corps de salpêtriers¹ : l'"homme de ville [...] va chercher les matières en ville, avec la bandouillière du salpêtrier aux armes du roi & du grand maître autour de sa ceinture"² et récolte "les terres de étables, des creux à fumier, des mares des basses-cours, des caves & sur-tout de celles qui sont voisines des fosses de latrines, les plâtras & gravois, sur-tout des vieux édifices, les débris des murs de terre, & sur-tout de torchis"³, afin d'élaborer le salpêtre ou nitre (KNO_3 , NaNO_3), sel neutre ou moyen formé par l'union de l'acide nitreux et d'un alkali fixe (soude ou potasse). Le nitre est donc une émanation de la vie : la preuve en est que ni les mines ni les souterrains des fortifications, où il n'y a "point d'exhalaisons animales"⁴, ne peuvent en produire. "Le lieu propre du *nitre*, ou du moins sa source propre, légitime, essentielle est à la surface de la terre. La rareté & la *paucité* de ce sel dans les entrailles de la terre, aussi-bien que la facilité avec laquelle il peut y être porté par diverses causes accidentelles, concourent à établir cette vérité."⁵, conclut Venel.

Mais il ne suffit pas de récolter les terres nitrifiées. En effet, le "Salpêtre qui se forme dans les caves, dans les écuries ou sous des hangars par des mélanges de matières animales & végétales qui se putréfient : presque tout ce Salpêtre est à base terreuse ou dans l'état d'eau-mère ; c'est-à-dire, que l'acide nitreux, au lieu d'y être combiné avec un alkali fixe, s'y trouve uni avec une terre calcaire ou absorbante."⁶ Il faut donc lors du

¹. Les salpêtriers vont racler les murs des caves et autres lieux salpêtrés tous les trois ans environ. La production qui atteignait 3,5 millions de livres (1 700 tonnes) à la fin du XVII^e siècle, n'est plus que de 1,8 millions de livres (900 tonnes) en 1775. A. L. LAVOISIER, "Documents et mémoires relatifs au prix du salpêtre", in : *Œuvres*, vol. 5, p. 471.

². *Encyclopédie (...)*, t. XI, *op. cit.*, art. "Nitre", par Venel.

³. *Ibid.*

⁴. *Extrait du mémoire de M. Thouvenel, sur la formation & la fabrication du salpêtre, qui a remporté le prix à l'Académie des Sciences en 1782*, Paris, 1782, p. 4.

⁵. *Encyclopédie (...)*, art. "Nitre", *op. cit.*

⁶. *Instruction sur l'établissement des nitrières et sur la fabrication du salpêtre, publiée par ordre du Roi par les régisseurs généraux des poudres & salpêtres*, Paris, 1777, pp. 2-3.

traitement substituer à cette base terreuse un alkali fixe : "Les Salpêtriers font journellement cette même opération sans s'en douter ; la cendre qu'ils mettent dans leurs cuveaux avec la terre qu'ils se proposent de lessiver, contient de l'alkali fixe"¹. A la fin du XVIII^e siècle, on cherche à optimiser la fabrication par l'établissement de nitrières performantes, décrites dans l'*Instruction* de 1777². Ces vastes hangars permettent d'"entretenir un milieu stagnant & tranquille, dans lequel l'air se renouvelle, mais lentement & peu-à-peu."³ L'Académie Royale des Sciences propose en effet un prix sur le thème *Trouver les moyens les plus prompts et les plus économiques de procurer en France une production & une récolte de salpêtre plus abondantes que celles qu'on obtient présentement*, remporté par le médecin Pierre Thouvenel en 1782. Thouvenel étudie entre autres l'"influence des différens airs sur la formation de l'acide nitreux"⁴ et montre qu'il s'obtient en mélangeant "de l'air de l'atmosphère ou de l'air déphlogistiqué avec l'air qui s'émane des matières végétales & animales qui se putréfient"⁵ ; l'acide est "saisi par la terre calcaire qui se trouve à proximité"⁶, celle-ci est salpêtrée en quelques mois.

Mais revenons à l'instruction de 1777, qui donne un parfait exemple de rentabilisation des cycles urbains. Le choix de l'emplacement d'abord :

"dans le voisinage d'un ville, d'un bourg ou d'un gros village, afin qu'on puisse composer le fond de la Nitrière de matières déjà salpêtrées, qu'on puisse se procurer facilement & en abondance pour les amendemens des terres végétales & animales de toute espèce, des excréments, des fumiers, des cendres, des eaux de lessives ou buanderies, des urines, &c."⁷

Plus la ville sera grande, plus elle sera susceptible de fournir des matières premières de qualité puisque "le mélange des matériaux nécessaires pour la formation du Salpêtre, se trouve tout fait dans ces terres, elles sont préférables à des terres pures, & elles exigent

¹. *Ibid.*, p. 3. Cet avis n'est pas partagé par Venel — qui veut montrer "l'anéantissement de cette belle théorie, reçue de tous les chimistes modernes sur l'usage des cendres qu'ils supposent fournir une base saline, sans laquelle nul nitre parfait" (*Encyclopédie* (...), art. "Nitre", *op. cit.*) —, mais suivi par l'auteur de l'article "Salpêtre" (de Jaucourt ?) pour lequel les cendres "fournissent à la partie acide l'alkali fixe dont elle pourroit manquer". *Encyclopédie* (...), t. XIV, Neuchâtel, 1765, art. "Salpêtre".

². *Instruction sur l'établissement des nitrières* (...), *op. cit.*

³. *Extrait du mémoire de M. Thouvenel* (...), *op. cit.*, p. 4.

⁴. *Ibid.*, p. 1.

⁵. *Ibid.*, p. 2.

⁶. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁷. *Instruction sur l'établissement des nitrières* (...), *op. cit.*, p. 7.

une main-d'œuvre de moins."¹ Les terres sont disposées dans les hangars. Pour les rendre plus riches,

"on y ajoutera [...] des fumiers pourris de chevaux, de mulets, de vache, de brebis de poules, de pigeons, &c. des excréments humains presque desséchés, des boues de rue, des plantes, des fruits de toute espèce, des feuilles d'arbres, du marc de raisin, des lies de vin, du tan, des balayures de maison, de caves, de granges & de greniers à foin, des cendres de toute espèce de bois, même de tourbes, les neuves, ainsi que celles qui ont déjà servi aux buanderies, &c. &c. Plus la putréfaction & la décomposition de ces matières sera avancée, plus elles seront propres à cet usage."²

Le mélange est périodiquement arrosé. "Toute liqueur putréfiée, ou susceptible de se putréfier, est propre à cet usage. Les urines d'hommes & d'animaux sont préférables à toutes ; ensuite les eaux qui ont servi à lessiver des fumiers : enfin on peut employer en arrosages les eaux de vaisselles, les égouts des rues des villes, la lessive des blanchisseuses"³.

Au bout de quinze à dix-huit mois, on procède au lessivage des matières afin de séparer la base terreuse insoluble du salpêtre soluble dans l'eau. C'est là qu'interviennent les cendres qui fournissent la base alcaline du nitre ; mais comme leur qualité est inégale, mieux vaut leur substituer directement la potasse : première remise en cause de l'utilisation pré-industrielle des déchets bruts. Pourtant, c'est ce modèle qui domine encore puisque l'instruction précise aussitôt que l'on peut employer "une matière alcaline très-commune, qui peut suppléer aux cendres & à la potasse"⁴. En effet :

"C'est en lessivant la cendre & en faisant évaporer l'eau qui a servi à la laver, qu'on fabrique la potasse qui nous vient d'Allemagne & du Nord de l'Europe ; il suit de-là, qu'une lessive de cendre, sur-tout de cendre de bois neuf, tient nécessairement une portion de potasse ou de sel alkali en dissolution. Il est donc d'une très-grande importance de rassembler avec soin, pour la fabrication du Salpêtre, toutes les eaux de blanchisseries & de buanderies, qui ne sont autre chose que des lessives de cendres.

"On ne fait aucun usage de ces eaux dans les Arts ; elles n'ont nulle valeur, & la quantité qui s'en perd tous les jours est considérable."⁵

¹. *Ibid.*, p. 10.

². *Ibid.*, p. 14.

³. *Ibid.*, p. 17.

⁴. *Ibid.*, p. 50.

⁵. *Ibid.*, pp. 50-51.

Une fois la *lexiviation* des terres opérée, la solution obtenue est portée à ébullition, ce qui permet la cristallisation du salpêtre. Les terres lessivées sont récupérées et enrichies par les matières contenues dans les *réservoirs à putréfaction*¹ où sont stockées tous les déchets susceptibles de fermentation. L'opération peut ensuite recommencer.

On le voit, rien n'est inutile jusqu'au mur qui clôt la salpêtrière qui participe à la production :

"Au lieu de fermer la Nitrière avec des claies garnies de paillassons, on pourroit l'environner d'un mur de terre mêlé de paille, de fumier, de bourre ou d'autres matières végétales & animales, susceptibles de décomposition. Ces murs se salpêtreroient avec le temps ; on pourroit les lessiver & les reconstruire. & il en résulteroit une augmentation de la quantité de Salpêtre que l'on obtiendrait"².

Le faible surcoût de construction est compensé par l'augmentation de la production de nitre.

Ce procédé figure, comme le suivant, un accélération du temps de putréfaction pour une plus grande rentabilité chimique.

c) *Tourbe artificielle*

C'est probablement le modèle de la nitrière qui inspire au médecin Mathieu Géraud son projet de 1786, projet qui repose sur une utilisation optimale du cycle trophique.

Géraud s'alarme des récentes disettes de combustible³. En effet, si le froid aigu des dernières années peut être tenu pour responsable — "Des Physiciens croient que ces phénomènes doivent être attribués aux éruptions des volcans, qui dans ces derniers tems ont été fréquentes et considérables. Quelques observations anciennes confirmeraient assez ce sentiment"⁴ —, force est de constater que la pénurie semble inéluctable : "Jamais l'Europe n'aura autant de bois qu'autrefois ; on pourra bien en faire quelques nouvelles plantations, mais elles ne peuvent être considérables. La grandeur de nos villes, la

¹. *Ibid.*, p. 59.

². *Ibid.*, p. 9.

³. Cf. *supra*, § I.1.2, a : "Cycles trophiques et putréfaction", p. 134.

⁴. M. GERAUD, *Essai sur la suppression des fosses d'aisances, et de toute espèce de voiries, sur la manière de convertir en combustibles les substances qu'on y renferme, &c*, Amsterdam, 1786, p. 3. Cette analyse est rapprocher des manifestations du tellurisme que nous avons évoquées au § I.1.1 : "Le sol méphitique".

destruction des objets souvent les plus nécessaires qu'elles occasionnent dans leurs environs, & même par-fois dans les campagnes éloignées, s'y opposent."¹ En outre, "de même que le bois, la tourbe & le charbon de terre s'épuiseront un jour dans une plus ou moins grande étendue de pays"².

Il faut donc inventer autre chose. Géraud se propose de tirer parti de ces villes destructrices, tout en les rendant plus salubres, grâce à la production de *tourbe artificielle*. Or que faut-il pour faire de la tourbe ? Des matières organiques, de la terre et de l'eau, toutes choses abondantes dans les cités.

Le projet est relativement simple. Les fosses d'aisances sont remplacées par un récipient étanche qui reçoit tous les déchets organiques de la maison et qui est, "tous les jours, ou de deux jours l'un, & même plus rarement, enlevé le matin de bonne heure, ou le soir tard"³ et échangé avec "celui de la veille bien lavé"⁴. On y ajoute les "substances qui seront ramassées dans les marchés, comme les halles, vallées, &c."⁵

Quant à la terre, dont la proportion varie avec la qualité des matières organiques récoltées, elle sera fournie par :

"le limon des égouts, celui des puisards, le sable ferrugineux pris de dessous le pavé lorsqu'il est refait ou raccommodé, le mâche-fer, la lave dans les pays volcanisés, à Paris où elle manque, une terre quelconque ; mais l'argilleuse sera préférée, & parmi les différentes espèces de cette terre, la noirâtre [i. e. celle des rues] tiendra le premier rang, comme contenant une plus grande quantité de fer ; faute d'autre addition on ajoutera à ce mélange la cendre même des combustibles, si on ne l'emploie pas comme engrais."⁶

Toutes ces matières pourront être récoltées par les prisonniers. L'eau, troisième ingrédient indispensable à la fabrication, provient des égouts ; celle "qui a balayé un grand nombre d'ateliers & de rues bien fréquentées, sera choisie de préférence ; elle contient d'ordinaire beaucoup de fer. Celui-ci fera corps avec les autres substances ; il rendra le tout plus propre à la combustion."⁷

¹. *Ibid.*, p. 88.

². *Ibid.*, p. 7.

³. *Ibid.*, p. 58.

⁴. *Ibid.*, p. 60.

⁵. *Ibid.*, p. 75.

⁶. *Ibid.*, pp. 74-75.

⁷. *Ibid.*, pp. 76-77.

Le mélange est fait dans une carrière que l'on ne remplit qu'aux deux tiers ou aux trois quarts, afin d'éviter les explosions qui sont de même nature que les éruptions volcaniques et les tremblements de terre. D'ailleurs,

"La connoissance de ces phénomènes, joints à ceux que fournit la poudre à canon [...], l'observation des effets que produit la préparation chymique que Lémery a nommée improprement volcan, dont l'explosion est d'autant plus considérable que cette composition est placée plus à l'étroit sous terre [...] auroient depuis longtemps pu nous donner quelques indices sur la manière de prévenir les trop violentes secousses qu'éprouve si fréquemment notre globe."¹

Les exhalaisons dues à la fermentation, évacuées par des soupiraux, sont neutralisées par "des matières capables de se combiner avec ces émanations"², ainsi, elles "seront peut-être dans la suite plus utiles qu'on n'ose le soupçonner. Si elles formoient un hépar, le soufre une fois dégagé, s'emploieroit dans les arts."³

La récolte se fera en septembre, à l'aide du ventilateur. Cependant, "rien ne nous fixe l'époque à laquelle les débris du règne organique ont été enfouis dans les pays bas & marécageux [...] ; nous ne connoissons pas également l'instant où ces débris ont formé une tourbe parfaite."⁴ En Flandre les fossés produisent de la tourbe artificielle, ils sont curés tous les sept à huit ans.

"Rendons l'art rival de la nature"⁵, s'exclame Géraud : par le dosage optimal des matières, la tourbe artificielle rivalisera avec la naturelle. La combustion de cette dernière — comme de tous les combustibles usités — produit "une grande quantité de phlogistique"⁶ qui "se combine & se neutralise avec l'air ambiant ; [...] en prive[nt] d'autant tout être organique, animal, ou plante qui se trouve dans les environs". La boue des villes, voire différentes terres, pourrait lui apporter des *principes aqueux* " & l'on sait combien l'eau mise en évaporation, qui alors forme toujours un courant d'air, est propre à arrêter les mauvais effets du phlogistique qui, une fois dégagé d'un corps quelconque, se porte sur un être organique."⁷

¹. *Ibid.*, pp. 79-80.

². *Ibid.*, p. 81.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. *Ibid.*, pp. 81-82.

⁵. *Ibid.*, p. 74.

⁶. *Ibid.*, p. 84.

⁷. *Ibid.*, p. 86.

Rien n'est inutile, pas même les cendres : "Ce nouvel engrais, en améliorant les sucres des différens végétaux dont on se nourrit, préviendra le mauvais goût & la mauvaise qualité qu'ont peut-être ceux qui naissent & croissent dans les terrains voirisés."¹ En effet, "leurs sucres précipitamment élaborés, sentent plus ou moins le terrain qui les a produits, ceci les rend suspects à bien des Médecins."²

Le projet de Géraud ne sera pas mis en œuvre, mais la question de l'exploitation des voiries demeure centrale jusqu'à la fin du XIX^e siècle. Il témoigne de ce souci de réutilisation et de rentabilisation des résidus de la vie urbaine et humaine : Thouret n'écrivait-il pas, à propos du produit de la momification en gras, "si cette matière peut être assez purifiée pour être employée dans les Arts, on conçoit de quelle manière on pourroit en faire aux voiries une application utile"³ ?

d) Culture et pavage

La décomposition des matières organiques n'est pas seule en cause. Dans les années 1770, l'académicien et agronome Mathieu Tillet observe la production du blé dans différentes terres et matières, afin de déterminer ce qui en fait la fertilité ; tout naturellement, il aura recours aux gravats : "les décombres de bâtimens sont composés ordinairement à Paris de pierres brisées, de vieux plâtres, de mortier détruit, de fragmens de briques, de tuiles, &c. J'ai employé [...] $\frac{5}{8}$ de cette sorte de décombres, & $\frac{3}{8}$ d'argile."⁴ Peut-être que "le grain [...] n'y a réussi que jusqu'à un certain point"⁵, mais l'idée est révélatrice.

En 1789, Antoine Tournon, de l'académie royale d'Arras, dénonce, comme tant d'autres, la déficience du pavage de la capitale :

"les Chinois savent mettre à profit les nombreux débris de leur porcelaine, ils les jettent sur les bords des lacs & des rivières dans les endroits desquels ils veulent chasser l'eau. Ces amas avec le tems, forment des quais, des places, & enfin des rues. Ne pourrions-nous pas nous aussi faire

¹. *Ibid.*, pp. 90-91.

². *Ibid.*, p. 123.

³. THOURET, *Rapport sur les exhumations (...)*, op. cit., p. 92.

⁴. M. TILLET, *Expériences & observations sur la végétation du Blé dans chacune des matières simples dont les terres labourables sont ordinairement composées, & dans différens mélanges de ces matières (...)*, Paris, 1774, p. 16.

⁵. *Ibid.*, p. 32.

usage des débris de nos Manufactures de porcelaine, de faïence, de tuiles, en un mot de terre cuite ?"¹

Il suffirait "de les piler & de les mêler avec du sable, moitié l'un moitié l'autre, ce mélange seroit plus convenable au pavé que le sable pur, il le consolideroit mieux, & ne formeroit pas de boue, même en tems de pluie."² Mieux encore, l'adjonction "de débris de murailles pilées, ce qu'abondamment l'on pourroit se procurer dans les grandes Villes"³, "les premières pluies en formeroient une espèce de ciment, & une fois desséché, l'eau couleroit sur la surface & n'y pénétreroit que difficilement"⁴. Les substances volcaniques sont peut-être plus efficaces mais on se les procure moins aisément⁵.

¹. A. TOURNON, *Moyens de rendre parfaitement propres les rues de Paris (...)*, Paris, 1789, p. 19.

². *Ibid.*, pp. 19-20.

³. *Ibid.*, p. 21.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, p. 22.

I.1.4. UN OUBLI ?

Exhalaisons de la terre, transpiration du pavé, rentabilisation du sol urbain. Tout porterait à croire que dès le XVIII^e siècle, les scientifiques sont en possession des réponses à certaines des questions que nous nous posons aujourd'hui lorsque nous voulons traiter de la place du sol dans le biotope de la cité.

Dans une première approche, nous pourrions nous en tenir à cette proximité du XVIII^e et du XX^e siècles qu'a évoquée Ariès¹. L'écologie, ou plus justement l'idée du milieu — urbain en particulier — ce serait alors perdue d'elle-même. Il est en effet fort possible que, l'hygiénisme ayant atteint son but par l'intermédiaire de la ventilation, de l'aération, du pavage et des réseaux, les questions inquiètes du XVIII^e siècle sur les émanations méphitiques et leurs corollaires, n'aient plus eu cours, de la même manière que l'industrie ne s'est plus appuyée sur le cycle trophique et a institué un règne du minéral, adopté dans les esprits dès la fin du XVIII^e siècle : "Entre l'organique et le minéral, entre l'artisanat et la manufacture, le choix est évident pour cette nouvelle génération de savants"², écrit A. Guillerme.

Pourtant cette explication par l'oubli ne nous satisfait pas pleinement : si des rues ont été pavées, des égouts bâtis, la voirie de Bondy — pour ne nous référer qu'au cas de Paris — a continué jusqu'à la fin du XIX^e siècle à accueillir une partie des vidanges de la capitale, dans des conditions d'insalubrité notoires, alors que la ville subissait toujours de violentes épidémies.

¹. Cf. *supra*, p. 124.

². A. GUILLERME, *Les temps de l'eau (...)*, *op. cit.*, p. 199.

I.2. LA TERRE INERTE

I.2.1. DE L'AIR, DE L'AIR

C'est donc dans cette même période de la seconde moitié du XVIII^e siècle qu'il faut rechercher les racines de l'oubli. Nous pouvons nous enthousiasmer devant ses pensées écologiques, mais force est de constater qu'elles ne sont pas partagées par toute la communauté scientifique : c'est ce que nous allons voir en examinant la façon dont sont abordées la nutrition des végétaux d'une part, l'influence de l'air sur le corps humain d'autre part. Nous y trouverons la persistance d'anciennes doctrines, mais aussi leur renouveau grâce aux découvertes concernant la composition et l'altération de l'air.

a) *La nutrition des végétaux*

Pour Jean Boulaïne, c'est "autour de 1700 que, pour le monde scientifique, s'impose l'idée que le sol, en tant que matière, peut contribuer à la nutrition des végétaux."¹ Mais cette idée ne fera pas l'unanimité avant le XIX^e siècle. Duhamel du Monceau, dans sa *Physique des arbres*, publiée en 1758, reste très réservé ; s'il évoque plusieurs fois au cours du texte la question : dans l'article consacré aux racines — "cette distribution étendue des racines étoit nécessaire, pour qu'elles pussent s'insinuer dans un nombre de molécules terreuses, & y recueillir cette immense quantité de nourriture, nécessaire à la subsistance & à l'accroissement d'un grand arbre"² —, dans celui qui traite du rôle des feuilles — "Comme les végétaux tirent de la terre, au moyen de leurs racines, que l'on peut comparer aux veines lactées des animaux, leur nourriture toute digérée"³ —, il n'est plus aussi affirmatif dans le chapitre consacré à l'économie des végétaux. Dans un premier temps, le point de vue précédent est repris : "Il me paroît plus naturel de croire, avec d'autres Physiciens, que la première préparation de la sève se fait dans la terre même, où l'eau dissoud les parties de la terre & des fumiers qui peuvent servir à la nourriture des végétaux. [...] les racines [...] séparent les parties qui sont propres à la nourriture des plantes, & elles sucent dans la terre un chyle végétal [...]"⁴

Mais plus loin, il est beaucoup plus circonspect :

¹ J. BOULAINÉ, *Histoire des pédologues et de la science des sols*, Paris : INRA, 1989, p. 37.

² DUHAMEL du MONCEAU, *op. cit.*, vol. 1, p. 79.

³ *Ibid.*, vol. 1, p. 134.

⁴ *Ibid.*, vol. 2, p. 189.

"Comme on retire par des opérations chimiques différentes substances des végétaux, on en a conclu qu'elles servoient à leur nourriture ; en conséquence on a pensé que l'air, le feu, l'eau, la terre, l'huile, différents sels, entroient dans la composition de la sève ; de sorte que l'analyse chimique conduit à penser que la terre est leur aliment principal, parce que les végétaux se réduisent en terre par la pourriture"¹.

Et il ajoute, contredisant ses propos antérieurs :

"je ferai voir que l'eau seule est capable de les faire subsister & croître.

"Quand je dis l'eau seule, j'entends parler de celle que nous buvons, & non pas d'un fluide élémentaire. Car outre que l'eau commune est peut-être beaucoup moins simple que nous ne le croyons, il est nécessaire qu'elle ait acquis sa fluidité de l'élément du feu, & de celui de l'air, sans quoi étant réduite en glace elle seroit plus nuisible qu'utile aux végétaux"².

Duhamel du Monceau souligne, avant d'entamer sa démonstration, le "peu de lumière qu'on peut attendre de l'analyse chimique"³. Il rapporte ensuite de très nombreuses expériences qui tendent à prouver que l'eau suffit à nourrir les plantes : "il y a tout lieu de douter qu'elles doivent leur accroissement à la terre même."⁴ L'erreur provient en fait d'une analogie abusive : "accoutumé que l'on est à penser que les substances solides, sont les seules propres à former des corps doués de cette propriété, on regarde l'eau comme un dissolvant qui après avoir déposé dans les plantes les parties solides qu'il contient, s'échappe avec la transpiration qui est très-abondante dans les végétaux"⁵ écrit-il, alors qu'il avait lui-même évoqué la fonction dissolvante de l'eau quelques pages plus haut.

En fait, Duhamel du Monceau semble très embarrassé ; après nous avoir dit que la terre nourrit les plantes, puis avoir démontré que l'eau seule y suffit, il conclut :

"certaines observations semblent à la vérité prouver qu'une portion de la terre passe dans les plantes ; mais aussi on vient de voir que l'eau très-claire & très-limpide suffit seule pour qu'elles

¹. *Ibid.*, vol. 2, p. 191.

². *Ibid.*, vol. 2, pp. 191-192.

³. *Ibid.*, vol. 2, p. 192.

⁴. *Ibid.*, vol. 2, p. 197.

⁵. *Ibid.*, vol. 2, p. 202.

fassent des productions assez considérables. Comment se fait la transformation de l'eau en bois, en feuilles, en écorce, en huile, en sel, en gomme, &c. ?"¹

On pourra nous objecter que l'analyse du seul texte de Duhamel du Monceau ne peut suffire à embrasser le monde scientifique du milieu du XVIII^e siècle ; cependant, nous voulons en retenir cette perplexité face au travail de la nature, perplexité que l'on rencontre plusieurs fois dans cet ouvrage² et que l'on retrouve dans de nombreux textes du XVIII^e et du début du XIX^e siècles. La question n'est pas de savoir que, comme l'écrit Boulaine, "beaucoup de ses idées étaient fausses"³, mais qu'en l'absence de photosynthèse puis de micro-organismes, une part de mystère demeure dans la nutrition des plantes et les cycles trophiques.

L'article "Terre végétale" de l'*Encyclopédie*, attribuée à cet *humus* — "la terre qui se trouve à la surface, elle est plus ou moins noire ou jaune"⁴ — la propriété de nourrir les plantes, mais la circulation de "l'eau, si nécessaire pour la végétation & qui est le véhicule qui doit porter le suc nourricier aux plantes"⁵, y est primordiale : "tout le mystère de la fertilisation des terres dépend de rencontrer la juste proportion qui est nécessaire, pour que les terres soient dans un état de division qui facilite la circulation des eaux, & qui ne les arrête ni trop ni trop peu."⁶ L'article "Terreau", dû à de Jaucourt⁷, est plus explicite ; mais peu clair quant à sa distinction d'avec la terre végétale analysée précédemment : "Nous entendons avec les Physiciens par terreau, une terre naturelle, qui n'est pas en tous lieux d'une profondeur égale, n'ayant qu'un pié dans quelques endroits, dans d'autres deux, quelquefois trois suivant les différens terrains. Ce terreau est la matrice propre des végétaux"⁸. Son analyse par l'eau montre "qu'il contient une certaine quantité de terre très-fine capable de nager dans le liquide ; une plus considérable dont la nature est plus grossière & plus pesante qui tombe au fond du vase ; un peu de sel neutre , & une très-

¹. *Ibid.*, vol. 2, p. 206.

². "On pourra demander, quelle est la cause qui donne à chaque plante cette forme qui fait que l'on distingue un Chêne d'avec un Chou, un Pin d'avec un Liseron". *Ibid.*, vol. 2, p. 183.

³. BOULAINÉ, *op. cit.*, p. 47.

⁴. *Encyclopédie* (...), t. XVI, Neuchâtel, 1765, art. "Végétale, terre".

⁵. *Ibid.*

⁶. *Ibid.*

⁷. Tout comme le précédent, probablement.

⁸. *Encyclopédie* (...), t. XVI, *op. cit.*, art. "Terreau".

grande quantité de sable."¹ Soumis à l'épreuve du feu, il se révèle "d'une nature végétale ou animale, par les sels ou les sucs qu'on en a retirés. Sa matière fixe nous prouve en même tems qu'il tient un peu de la nature minérale. Cette analyse [...] nous apprend aussi pourquoi les substances animales & végétales forment un composé propre à engraisser la terre."²

Plus curieuse au premier abord, mais en définitive compréhensible, la formation du terreau :

"Si l'on veut savoir comment le terreau acquiert cette propriété, je crois qu'on en trouvera la cause en général dans l'expérience précédente sur les parties qui composent l'atmosphère ; ces parties étant animales & végétales aussi bien que minérales, abreuvent continuellement la surface de la terre : c'est par cette raison que les Jardiniers trouvent une si grande différence entre le terrain de Londres & celui de la campagne ; cette différence vient de la quantité de fumée précipitée de l'air journellement sur les jardins de cette ville : il en est de même des autres villes, & des campagnes qui les environnent."³

Ainsi, le sol ne semble pas avoir de propriétés chimiques intrinsèques : elles lui viennent de cet air que l'urbanisation affecte, il ne vaut que par ses propriétés mécaniques et hydrauliques. Dans ses *Expériences sur la végétation du blé*, Tillet aboutit à des conclusions similaires. A propos du fumier, il écrit :

"mais l'avantage qu'on en retire est-il dû seulement à la nature du fumier, comme engrais proprement dit, comme fournissant à la terre des sucs, des sels, une substance analogue à celle des plantes, & par-là très propre à les nourrir ? N'y a-t-il pas lieu de croire que les fumiers produisent un bon effet dans les terres, par une voie purement mécanique ; c'est-à-dire en les soulevant, en empêchant qu'elles ne deviennent trop compactes, & en donnant lieu, par leur subdivision, aux racines les plus déliées d'une plante de se développer en aussi grand nombre qu'elle est capable d'en fournir ?"⁴

¹. *Ibid.*

². *Ibid.*

³. *Ibid.* Jusque dans les années 1780, les laboureurs attribuaient aux brouillards la carie du blé. Par une série d'expériences, Tillet veut leur démontrer "qu'elle a une toute autre origine [...] ; la malignité attachée à la poussière des grains de froment corrompus". TILLET, *Moyen de préparer le Bled avant de le semer, & pour le préserver de la carie, dont la cause est attribuée mal-à-propos, aux brouillards*, Valenciennes, 1785, p. 8.

⁴. TILLET, *Expériences & observations sur la végétation du Blé (...)*, op. cit., p. 20.

Les vertus de l'eau sont encore une fois mises en avant : les bons résultats obtenus avec la sablon amènent Tillet à soupçonner "qu'un des plus grands avantages des bonnes terres labourables est de se maintenir toujours, par la nature des parties qui la composent, dans un certain degré d'humidité, en même temps que ces parties n'empêchent point, par une trop grande liaison entre elles, que les racines [...] ne s'y ramifient"¹.

Il nous semble que la découverte des échanges entre les végétaux et l'atmosphère, si elle apporte beaucoup à la notion de cycle des matières, freine la connaissance des cycles souterrains : si les plantes ne se nourrissent que d'eau puis d'air, à quoi sert la terre ? Dans son panégyrique de l'eau en général et des eaux de la Seine en particulier, Parmentier écrit : "L'opinion la plus long-tems & la plus universellement accréditée, c'est qu'elles [les plantes] tirent ces sucs nourriciers de la terre, & que celle-ci est d'autant plus féconde, qu'elle contient davantage de matières onctueuses & salines"², mais il la réfute aussitôt. En effet, le rôle des engrais et de la terre elle-même est ici aussi purement mécanique : "le principe essentiel de la culture, consiste à opérer la division des molécules terreuses, à augmenter leur surface, à leur donner une forme capable d'attirer, de retenir, de diviser, de distribuer les vapeurs qui circulent dans l'air"³ :

"Il paroît donc inutile de chercher dans la terre, dans les engrais, & dans les matières salines, les différens principes qu'on retire des plantes par analyse, pour expliquer ce qui se passe dans la végétation ; l'Eau, de quelque espèce qu'elle soit, paroît être l'agent principal de cette opération de la nature, c'est-à-dire qu'elle forme, presque seule, tous les solides & tous les fluides des végétaux"⁴.

Par ailleurs, la vertu correctrice des végétaux n'est pas admise par tous. Dans sa topographie médicale de la Haute Auvergne, de Brieuville accuse les forêts de châtaigniers d'un double mal : non seulement elles empêchent le mouvement de l'air, mais aussi elles contribuent à sa corruption :

"Cet arbre étend ses branches au loin près de la terre. Ses feuilles très-larges le rendent touffu ; de sorte que les bois de châtaignier, qui sont ordinairement plantés sur les côteaux, empêchent le renouvellement de l'air des vallons, où il y a d'ailleurs beaucoup d'eaux stagnantes. Ses feuilles vertes, à la vérité, filtrent & purifient l'atmosphère pendant qu'elles sont en pleine

¹. *Ibid.*, p. 43.

². PARMENTIER, *op. cit.*, p. 115.

³. *Ibid.*, p. 121.

⁴. *Ibid.*, pp. 125-126.

végétation. Mais cet avantage ne compense point le mal que fait la stagnation de l'air. Leur putréfaction après leur chute est de très-longue durée. Elle vicie certainement beaucoup plus l'air, qu'elles ne l'ont purifié pendant leur vigueur. Cette cause produit les maladies d'automne dans le pays où l'on cultive la châtaigne ; & elle donne une constitution particulière à ses habitants, qui sont sujets aux embarras du foie & de la rate."¹

Ainsi, le principe de purification par les feuilles est-il admis, mais que représente-t-il par rapport à toute la période de l'année pendant laquelle les arbres en sont dépourvus ? Nous avons vu que Chamseru tient le même raisonnement lorsqu'il traite de la nyctalopie : si les maladies de printemps sont en partie dues aux exhalaisons de la terre entraînées par son dessèchement, celles d'automne trouvent leur explication dans la chute des feuilles. Monfalcon admet lui aussi que "les végétaux absorbent le gaz carbonique [...]. Ainsi, ils peuvent contribuer jusqu'à un certain point à améliorer l'état de l'atmosphère."² Cependant,

"Beaucoup d'arbres auprès des marais, entretiennent dans l'atmosphère une grande humidité fort préjudiciable à la santé publique ; il gênent la libre circulation de l'air [...]. Cet effet est surtout remarquable lorsqu'ils sont situés de manière à mettre obstacle au cours des vents bienfaisants du Nord. [...]

"D'autre part, les masses végétales opposent une barrière aux émanations marécageuses, et protègent les villes contre l'influence redoutable des eaux stagnantes."³

Les arbres n'opèrent donc favorablement que tant qu'ils ne font pas obstacle à l'action mécanique de l'air : "Ce qu'il faut faire dans l'état actuel des choses, ce sont des trouées, des clairières : il faut couvrir les étangs au midi et les ouvrir au nord"⁴ conclut Monfalcon, reprenant une idée rebattue. C'est peut-être sans regret que la Révolution et l'Empire ont aussi fortement déboisé la France comme ils ont comblé les marais.

b) L'air humide et chaud rend mou

Nous avons voulu montrer, dans un premier temps, que les exhalaisons de la terre, leur méphitisme et leurs miasmes, étaient au XVIII^e siècle considérés comme les responsables de nombreuses maladies ; mais une autre doctrine s'oppose à la précédente

¹. BRIEUDE, *op. cit.*, p. 293.

². MONFALCON, *op.cit.*, p. 391.

³. *Ibid.*, p. 392.

⁴. *Ibid.*, p. 394.

— et parfois, il est vrai, la complète —, que l'on peut résumer de façon simpliste en ces termes : *l'air humide et chaud rend mou et malade*.

Chez Jacquin — qui admet d'ailleurs l'existence d'*exhalaisons putrides* —, les deux théories semblent cohabiter, comme en témoigne son analyse des vertus des vents :

"Ainsi le vent d'est, chargé de parties balsamiques & aromatiques de l'Asie, resserre les vaisseaux, procure une circulation louable, & rend le corps dispos, & l'esprit gai & vif. Le nord, rempli d'acide nitreux, est trop froid, resserre trop les pores & suspend la transpiration ; les personnes d'une complexion délicate doivent le craindre, & s'en garantir, autant qu'elles le peuvent. Le vent du midi, par la grande abondance de ces souffres, dilate trop les vaisseaux, retarde la circulation & la digestion, & rend l'esprit sombre & engourdi. L'ouest, chargé de vapeurs aqueuses, obstrue les pores de la peau, cause des fluxions, des rhumes, des catarrhes, & rend l'esprit lâche & paresseux."¹

L'article "Hygiène" de l'*Encyclopédie* insiste sur les qualités de l'air :

"Rien n'affecte plus nos corps que l'air, & ne nuit davantage que ses impuretés & ses autres mauvaises qualités, comme l'excès, les variations subites de pesanteur, de légèreté, de chaleur, de froid & d'humidité qui opèrent à l'égard de nos solides, de nos fluides, & du cours de nos humeurs en général, des altérations, changemens de la plus grande conséquence, qui peuvent avoir les suites les plus funestes."²

Mais c'est l'article sur les "choses non-naturelles" qui est le plus révélateur, car il ne considère l'air qu'en vertu de ses qualités mécaniques :

"l'air chaud [...] relâche les fibres, affoiblit le mouvement oscillatoire des vaisseaux, engourdit la circulation, le cours des humeurs, les dissout, les dissipe par une trop grande transpiration : au-lieu que l'air froid en condensant les corps raffermir les solides de l'animal, le rend plus vigoureux, plus agile, favorise l'élaboration de ses fluides, & fortifie à tous égards le tempérament. [...]"

.....

"Plus l'air est pesant, plus il est favorable à la santé, sur-tout s'il est en même tems plutôt froid que chaud ; il est plus élastique ; il augmente la force des vaisseaux, sur-tout dans les poumons qu'il dilate plus parfaitement, & il rend ainsi la respiration plus libre"³.

¹. JACQUIN, *op. cit.*, pp. 32-33.

². *Encyclopédie* (...), t. VII, Paris, 1757, art. "Hygiène".

³. *Encyclopédie* (...), art. "Non-naturelles, choses", *op. cit.*

Cette pesanteur ne doit pas être confondue avec "le sentiment d'affaissement que l'on éprouve dans les tems couverts, nébuleux, pluvieux, avec un vent chaud, où tout le monde se plaint de se sentir appesanti, accablé"¹. Dans cette optique, les exhalaisons n'agissent qu'en rendant l'air plus ou moins lourd, donc de façon purement mécanique, elles aussi. Notons que cette notion d'*air pesant* semble difficile à appréhender par l'auteur même de l'article qui écrit, au début du paragraphe consacré à l'air, qu'il faut le garder "de tout mélange qui le rend trop pesant, trop humide, trop grossier"².

Ainsi, le Champsaur est un "pays froid & sec en toute saison, [ce] qui ne contribue pas peu à la salubrité de l'air, à la santé des habitans, à la vivacité de leurs couleurs & à leur constitution saine & robuste"³. Il en va de même en Haute Auvergne où "quoique l'air [...] soit presque toujours humide, il ne relâche point le corps & ne l'affaisse point comme on l'éprouve dans les pays bas & marécageux ; il porte, au contraire, une impression vive sur tous les êtres : son ressort se fait sentir visiblement sur les montagnes, la haute plaine"⁴, ressort qu'il faut attribuer à son mouvement, et opposer à l'"air nébuleux, gras"⁵, source de fièvre de Boerhaave, à "cette humidité chaude & molle"⁶ de Lepecq de la Cloture, ou au temps "pluvieux, mol, & venteux"⁷ de Geoffroy.

Même vertu du mouvement chez Parmentier :

"Les forêts qu'on a consumées, dans le dessein de purifier l'air des contrées infectées ; ces grands bûchers composés de bois aromatiques, dirigés sur les villes ; les substances résineuses dont on parfume les appartemens ; les liqueurs spiritueuses, acides, corrosives, qu'on fait exhale pour détruire ou neutraliser les prétendus miasmes dispersés dans l'athmosphère, ou qui s'échappent des ateliers, ne sont souvent que des moyens employés à dessein de donner à l'air plus de mouvement, pour lui rendre l'élasticité & la fluidité qu'une cause quelconque a pu lui enlever."⁸

¹. *Ibid.*

². *Ibid.*

³. VILLAR, "Mémoire sur les maladies du Champsaur", lu le 2 mars 1779, *M.S.R.M.*, 1777-1778, p. 143.

⁴. BRIEUDE, *op. cit.*, p. 290.

⁵. BOERHAAVE, *Aphorismes (...) sur la connoissance et la cure des maladies*, Paris, 1745, p. 166.

⁶. LEPECQ de la CLOTURE, *op. cit.*, p. 279.

⁷. GEOFFROY, "constitution des années 1784 & 1785, avec le détail des maladies qui ont régné pendant ces deux années à Paris", *M.S.R.M.*, 1784-1785, p. 42.

⁸. PARMENTIER, *op. cit.*, p. 104.

A Paris, où se mêlent les vapeurs des ateliers et combustibles divers, le cours rapide du fleuve, "sans compter le mouvement continu & multiplié des voitures, celui où sont perpétuellement une foule d'hommes qui vont & viennent, on pourroit comparer tous ces effets à une machine assez compliquée, dont toutes les parties serviroient à former un ventilateur."¹ Une ville industrielle est donc nécessairement salubre, puisqu'on y bouge beaucoup : "sous l'influence d'une certaine vulgarisation médicale, administrateurs, économistes, ingénieurs, architectes tendent à assimiler la fonction du sang qui irrigue les tissus animaux à celle de la circulation des biens et des hommes qui contribue à vivifier ce qu'il faut bien appeler, dans la logique de cette équation, un organisme urbain"², résume Jean-Louis Harouel. Le même raisonnement est donc logiquement appliqué à l'eau : "loin donc que l'eau de la Seine se vicie en traversant Paris, il me semble au contraire qu'elle y acquiert de la qualité par l'augmentation de son mouvement"³, affirme Parmentier. La présence de matières en décomposition n'a aucune incidence sur ses caractéristiques, "par la raison que l'Eau qui y aborde ne fait que lèche, pour ainsi dire, la masse putréfiée, à cause de son passage rapide & de son renouvellement continuel ; elle ne peut en retirer que des atômes déjà décomposés, & qui, par conséquent, n'ont rien des produits de la putréfaction."⁴

Pour Baumes, "l'air marécageux est plus pesant, moins élastique, [qu'] il entre dans sa masse des substances douées d'une grande âcreté, on ne peut plus se déguiser qu'il doit agir aussi défavorablement sur les solides et sur les liqueurs, relâchant et crispant tout à la fois les uns, épaississant et dissolvant en même temps les autres"⁵, si les miasmes marécageux sont cause de diverses maladies, cet air de nature humide agit sur l'homme en santé :

"Etudiez l'homme dans ces contrées, ô vous qui cherchez à vous instruire sur l'influence des climats ! et vous verrez que l'espèce humaine y est marquée par des traits presque uniformes, qui annoncent la dangereuse action d'une cause générale. L'homme y est moins beau, sa stature est plus petite, sa vigueur est moins mâle, et sa physionomie est moins intéressante. [...] vous trouverez

¹. *Ibid.*, pp. 103-104.

². J. L. HAROUEL, "Les fonctions de l'alignement dans l'organisme urbain", *XVIIIe siècle* 9, 1977, pp. 141-142.

³. PARMENTIER, *op. cit.*, p. 30.

⁴. *Ibid.*, p. 25.

⁵. BAUMES, *op. cit.*, p. 16.

des membres mal nourris, quoique plus ou moins gros, et une certaine mollesse des chairs, qui prévient en faveur d'un vice radical de tempérament. La carnation de la peau n'est pas naturelle, et l'on remarque communément que la couleur dominante est la basanée et le blanc jaunâtre. Du reste, l'épiderme est rude [...]. Le ventre est presque gros, empâté, sur-tout dans la partie droite ; il n'est pas rare que l'épigastre et l'hypocondre droit prominent sensiblement. [...] on pourroit dire que la respiration est un peu plus courte : ce qui annoncerait la foiblesse naturelle des poumons. Dans l'examen de la tête, on voit des yeux mornes, des joues assez souvent relevées, mais pâles ou légèrement colorées comme par du minium ; les gencives ne sont pas bien fermes, quelquefois elles sont molles, et les dents sont rarement bien belles et blanches.

"Tous ces indices d'une constitution lâche et foible se rencontrent avec des passions peu vives, avec un caractère indéterminé, avec une nonchalance qui se déclare dans toutes les actions. Aussi les individus de ces contrées palustres sont-ils peu ardents pour les plaisirs de l'amour, moins propres à la guerre, peu disposés à s'expatrier, moins querelleurs, plus timides et peu ingénieux."¹

Mais le texte le plus significatif à cet égard est dû à M. F. B. Ramel, qui rejette sur un ton polémique à la fois les vues de Banau, Turben et Baumes sur les émanations des marais. Après avoir dénoncé l'eudiomètre comme "parfaitement inutile et muet"², il se lance dans une longue diatribe contre les miasmes, "cette cause chimérique et absurde"³, revenant à la charge dans ses observations cliniques :

"Il existe sans doute des affections produites par les miasmes. Telles sont la peste, la petite-vérole, et quelques autres maladies éruptives qui s'attachent à l'enfance, les fièvres malignes des prisons et des hôpitaux ; mais hors de ces cas, les miasmes doivent être repoussés, comme nous ramenant aux causes occultes qui déshonorent certain âge de la Médecine."⁴

Vexé de s'être vu enlever le premier prix de la Société Royale de Médecine par Baumes, il l'accuse nommément de se fourvoyer par manque de pratique de ces lieux insalubres que sont les marais. Plus loin, il récuse l'analyse chimique des émanations, et l'attribution aux gaz qui les composent des maladies palustres⁵.

Pour Ramel, les fièvres et autres maladies endémiques qui règnent dans les lieux palustres ont une cause unique : l'humidité de l'air dont témoignent ses observations

¹. *Ibid.*, pp. 32-34.

². M. F. B. RAMEL, *De l'influence des marais et des étangs sur la santé de l'homme (...)*, Marseille, an X, p. 35. Ramel tire ses observations de son séjour de plusieurs années à Bonne et La Calle, en Afrique, où il exerça la médecine.

³. *Ibid.*, p. 36.

⁴. *Ibid.*, p. 44.

⁵. *Ibid.*, p. 229.

hygrométriques¹. Les nouveaux venus en ressentent les attaques dès les premiers jours ; "d'un autre côté, si l'on porte ses regards sur les indigènes, sur ces malheureuses hordes nomades [...], on voit des hommes d'une habitude de corps assez grasse et musculeuse, mais faibles, lâches, phlegmatiques, pâles, décolorés, et incapables de supporter le moindre travail."² Inspiré par Hermann Boerhaave, il affirme : "les causes prochaines et immédiates des maladies endémiques dans le voisinage des eaux stagnantes, sont la diminution de l'insensible transpiration, la surabondance, la turgescence et la dégénérescence de la bile et des sucs digestifs"³. Pourtant, parmi les causes des fièvres, Boerhaave retient effectivement le froid, la chaleur, l'humidité, mais aussi "l'acrimonie putréfiante de l'air, on la corrige en brûlant du salpêtre, de la poudre à canon, par des vapeurs de vinaigre, en jettant du sel sur des charbons ardents."⁴

Les moyens de lutte proposés par Ramel consistent principalement à favoriser le mouvement de l'air — il n'y a rien d'original à cela, mais dans le cas de Ramel, c'est la seule et unique solution — : "L'explosion de la poudre à canon, et le son des cloches en communiquant à l'air des vibrations et des locomotions ondulantes, dissipent avec facilité les brouillards épais, humides et mal-sains qui s'élèvent si fréquemment des lieux palustres"⁵, mais ces moyens sont insuffisants, et, dans le cas de la poudre, fort coûteux. D'ailleurs, comment agiter et purifier cette masse immense d'air dont toutes les parties se touchent ? "On ne peut s'empêcher de rire, lorsqu'on entend le Docteur Ingen-houz proposer, de renouveler tout l'air d'une chambre par l'agitation de la porte, ou d'un drap de lit, ou par tout autre moyen aussi facile, qui force l'air intérieur à se déplacer. Quelle ignorance profonde de la physique de l'air !"⁶ La végétation n'est guère utile que par sa "propriété précieuse de corriger l'air atmosphérique, soit par ce mouvement que ces

1. Vicq d'Azyr et Jeanroi n'écrivaient-ils pas : "C'est une vérité bien reconnue que l'humidité de l'air dispose aux fièvres intermittentes, & que la chaleur jointe à cette humidité, rend souvent ces fièvres putrides & pétéchiâles" ? VICQ d'AZYR, JEANROI, "Rapport fait à la Société Royale de Médecine, au sujet de l'épidémie de Villeneuve-lès-Avignon", *H.S.R.M.*, 1776, p. 224.

2. RAMEL, *op. cit.*, p. 42.

3. *Ibid.*, p. 68.

4. BOERHAAVE, *Aphorismes (...)*, *op. cit.*, p. 174.

5. RAMEL, *op. cit.*, p. 259. La poudre a souvent été proposée pour lutter contre la corruption de l'air. "M. Navier pense que c'est à l'ébranlement produit dans l'air par son explosion, que l'on doit la santé de nos soldats, beaucoup plus robustes, suivant lui, que dans le temps où l'on n'employoit que l'arme blanche", rapporte Vicq d'Azyr (*op. cit.*, pp. xlv-xlvj) qui ne souscrit pas à cette analyse mais préconise néanmoins l'usage de la poudre lors de la désinfection des étables (VICQ d'AZYR, *Instructions sur la manière de désinfecter une paroisse*, Paris, 1775, p. 7).

6. RAMEL, *op. cit.*, pp. 253-254.

arbres battus par le vent lui impriment, soit par les émanations de leurs feuilles et de leur écorce."¹ Les forêts rares sont donc salutaires — "Honneur et éloge à celui qui a le premier proposé ce moyen prophylactique"² —, mais il faut se garder des "forêts trop épaisses [qui] entretiennent sous leurs épais feuillages une humidité constante, que les rayons bienfaisants du soleil ne peuvent détruire. Elles interceptent les vents qui opèrent dans l'atmosphère des déplacements et des locomotions atmosphériques si salutaires."³ L'air de la maison sera corrigé par la combustion de substances odoriférantes et des "fumigations d'acides sulfuriques et muriatiques"⁴. Enfin, en ce qui concerne les habitants, "les seules indications prophylactiques dans les contrées marécageuses, consistent à soutenir le ton élastique et le ressort de la fibre animale"⁵, par l'usage de "toniques, fortifiants, apéritifs"⁶, et du tabac : "rien n'est si salubre que sa fumée qui corrige, d'une manière sensible, les qualités vicieuses de l'air, et qui corrige précisément cette portion d'air qui va être inspirée et dans l'instant qu'elle va être introduite dans le corps animal."⁷

Ainsi, le climat de la constitution règne-t-il parallèlement au climat de la topographie ; on ne peut donc dire que l'un supplante l'autre.

c) La respiration corrompt

Un autre sentiment qui a certainement occulté le rôle du sol est celui de la corruption de l'air par la respiration, particulièrement dans les lieux clos ou densément peuplés : vaisseaux, hôpitaux, prisons, salles de spectacle et de réunions, villes enfin. J. Guillerme l'a analysé⁸, et on le retrouve dans de très nombreux textes du XVIII^e siècle. "Il n'est pas de corruption plus fatale aux animaux, que la corruption des animaux mêmes. Dans les temps les plus reculés nous voyons les funestes effets des exhalaisons des corps animés"⁹, nous dit Sénac ; "on doit avoir soin de renouveler souvent l'air des

¹. *Ibid.*, pp. 255-256.

². *Ibid.*, p. 256.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. *Ibid.*, p. 300.

⁵. *Ibid.*, p. 274.

⁶. *Ibid.*, p. 275.

⁷. *Ibid.*, p. 303.

⁸. J. GUILLERME, "La malsain et l'économie de la nature", *op. cit.*, p. 63.

⁹. SENAC, *op. cit.*, 1^{ère} partie, p. 61.

habitations fermées, sur-tout lorsque plusieurs personnes y sont contenues ensemble & pendant un tems considérable"¹, lit-on dans l'*Encyclopédie*. "Les hommes rassemblés, malades ou sains, se nuisent réciproquement par le seul effet de leur respiration, & de l'insensible transpiration qui émane de toute la superficie de leur corps"², écrit Janin. Brieude quant à lui approche la nature chimique de "l'air que les animaux & les végétaux inhalent ou respirent, lequel à sa sortie est transformé en vrai gaz, & devient dès-lors un corps étranger à l'atmosphère."³

Ce fléau avéré par de nombreuses observations, est confirmé par les analyses rapportées à la Société Royale de Médecine en 1785 par Lavoisier dans son "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société"⁴, où il démontre la nocivité de l'air exhalé. En premier lieu, il y a plusieurs sortes d'air :

"Si ces airs ont beaucoup de rapport avec celui de l'atmosphère pour leurs qualités extérieures, & qu'on peut regarder comme physiques, ils en diffèrent essentiellement par leurs qualités chimiques : les uns ne sont autres choses que des acides ou des alkalis [...] ; les autres sont des substances neutres d'une nature très-singulière ; d'autres enfin sont encore absolument inconnus."⁵

C'est la chaleur — le *calorique* — qui leur donne "l'état aériforme ou de fluide élastique [qui] n'est donc qu'une manière d'être des corps, & le mot d'air ou de gaz n'est qu'une expression générique, qui caractérise non pas une espèce, mais une classe de corps"⁶. Les résultats de l'analyse de l'air atmosphérique sont reportés dans le tableau 19.

Mais il importe aussi de connaître les modifications que la respiration fait connaître à l'air. Pour ce faire, "j'ai introduit un cochon d'inde sous une cloche de cristal renversée sur du mercure : elle contenoit deux cent quarante-huit pouces cubiques d'air vital. Je l'y ai laissé pendant une heure & un quart"⁷, nous dit Lavoisier.

¹. *Encyclopédie* (...), art. "Non-naturelles, choses", *op. cit.*

². JANIN, *op. cit.*, p. 3.

³. BRIEUDE, *op. cit.*, p. 289.

⁴. LAVOISIER, "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société", *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 569-582.

⁵. *Ibid.*, p. 569.

⁶. *Ibid.*, p. 570.

⁷. *Ibid.*, p. 572.

"L'air, dans cette expérience, a été diminué d'environ un trente-deuxième de son volume, mais il a augmenté de pesanteur absolue ; d'où il résulte évidemment, 1°. que l'air extrait quelque chose du poumon pendant l'acte de la respiration ; 2°. que la substance extraite, combinée avec l'air vital, forme de l'air fixe : or, on sait qu'il n'y a que la matière charbonneuse qui ait cette propriété. L'air, par l'acte de la respiration, extrait donc du poumon une matière véritablement charbonneuse."¹

Le tableau 20 donne les résultats obtenus par Lavoisier en répétant la même expérience avec de l'air atmosphérique.

Voilà démontrée de façon scientifique la nocivité des concentrations humaines — confirmée par les prélèvements réalisés *in situ* —, d'autant plus que "cet examen de l'air qui a été épuisé par la respiration, nous apprend que la limite dans laquelle peut varier la proportion d'air vital & de moffète atmosphérique nécessaire pour former de l'air respirable, n'est pas très-étendue"². Heureusement, chacun des fluides aériformes a sa pesanteur spécifique, "la moffète atmosphérique, comme plus légère & favorisée d'ailleurs par la chaleur qui la dilate, se porte naturellement vers le haut ; [qu'] il s'établit en conséquence une espèce de circulation d'air, & [qu'] à mesure que l'air méphitique parvient à s'échapper par le haut, il est remplacé par de l'air frais qui s'introduit par les ouvertures d'en bas"³, pour peu qu'elles existent. Néanmoins,

"on a déjà annoncé que dans quelques circonstances l'air chargé de vapeurs infectes & putrides pouvoit devenir plus pesant que l'air ordinaire, il doit donc tendre alors à se rassembler dans les lieux bas ; d'où il suit qu'une prison dont le sol seroit plus enfoncé que celui des quartiers voisins pourroit devenir [...] la sentine & le réceptacle de tout l'air corrompu des environs"⁴.

Il n'est pas de notre ressort d'analyser les conséquences scientifiques des résultats de Lavoisier, d'autres l'ont fait avant nous⁵. Mais, comme dans le cas de la végétation, cette confirmation scientifique va déplacer, ou plutôt renforcer, les préoccupations vers le

¹. *Ibid.*, p. 573.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 579.

⁴. DU HAMEL, DE MONTIGNY, LE ROY, TENON, TILLET, LAVOISIER, "Rapport fait à l'Académie Royale des Sciences, sur les prisons, le 17 mars 1780", *M.A.R.S.*, 1780, pp. 423-424.

⁵. H. GERLAC, *Antoine Laurent Lavoisier : chemist and revolutionary*, New York, 1975 ; KUHN, *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, 1978 ; H. MAC CANN, *Chemistry transformed : the paradigm shift from phlogisticon to oxygen*, Norwood, 1978.

renouvellement de l'air : l'homme s'anéantit par sa propre respiration, "idée incommode"¹, comme l'écrit J. Guillerme.

Tableau 19. Analyse de l'air atmosphérique par Lavoisier.

	<i>parties</i>	<i>en volume</i>	<i>en poids</i>
<i>Air vital ou déphlogistiqué, "éminemment propre à la respiration"</i>	27 à 28	484 pouces	3 gros 36 grains
<i>Moffète atmosphérique, "fluide méphitique absolument incapable d'entretenir la combustion des corps & la respiration des animaux."*</i>	72 à 73	1244 pouces	7 gros 49 grains
<i>Total</i>	100	1 728 pouces (1 pied cube)	1 once 3 gros 3 grains

* Fourcroy lui préférera l'appellation de *gaz azote* (sans vie), en raison de "sa propriété délétère, opposée à celle de l'air vital" (FOURCROY, "Recherches pour servir à l'histoire du gaz azote ou de la mofète, comme principe des matières animales", *M.S.R.M.*, 1786, p. 346).

D'après : A. L. de LAVOISIER, "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société", *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 570-571.

Tableau 20. Composition de l'air atmosphérique altéré par la respiration déterminée par Lavoisier.

	<i>en volume</i>	<i>en poids</i>
<i>Air vital</i>	173 pouces	0 once 1 gros 14 grains 1/2
<i>Air fixe</i>	200 pouces	0 once 1 gros 66 grains
<i>Moffète atmosphérique</i>	1 355 pouces	1 once ? gros 26 grains
<i>Total</i>	1 728 pouces (1 pied cube)	1 once 3 gros 34 grains 1/2

D'après : LAVOISIER, "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société", *M.S.R.M.*, 1782-1783, p. 575.

¹. J. GUILLERME, "La malsain et l'économie de la nature", *op. cit.*, p. 68.

1.2.2. LA FIGURE DE LA VILLE

Le XVIII^e siècle voit s'affronter deux théories de la terre : le *neptunisme* — la plus ancienne — qui attribue une origine sédimentaire à ses couches, et le *plutonisme* pour lequel certaines roches ont une origine ignée ou volcanique qui apparaît dans les années 1740 — bien que des germes antérieurs existent. Sans retracer l'histoire de la géologie analysée récemment par Gabriel Gohau¹, rappelons simplement qu'un des obstacles à une histoire de la terre est la soumission au dogme chrétien qui veut que notre planète n'ait que quelques milliers d'années² et que la sédimentation soit due au seul Déluge — "hypothèse plus ingénieuse que vraie"³, selon les Encyclopédistes.

Quoi qu'il en soit, ce courant intellectuel qui cherche à comprendre et à décrire la figure et la structure de la terre aura des échos dans la ville.

a) Paris immergé et les villes militaires

L'eau guide les premières recherches sur la configuration du sol urbain : d'une part, elle amène les inondations dont on cherche à se préserver ; d'autre part, elle permet de ressentir l'évolution du relief ; enfin, elle est au centre de la géographie.

En effet, Paris n'a jamais été à l'abri des submersions et dès le XVII^e siècle sont élaborés les premiers projets conséquents d'aménagement du fleuve et de sa vallée, suite en particulier aux crues de 1651 et 1658. On propose de construire un canal de décharge⁴, ou de "lever les Quays, les égouts, les ruës et les cours des maisons jusques à la hauteur de la plus grande eau que nous avons eue"⁵, ce qui suscitait le scepticisme de l'intendant des fortifications P. Petit : "mais en bonne foy se résoudroit-on à faire des celliers & des caves, de tant de boutiques et de belles salles ? feroit-on les portes cochères où sont maintenant les alcoïes ? & trouveroit-on assez de terre, de temps & d'argent pour réhausser tant de lieux bas de 9. & de 10. pieds ?"⁶ Petit déplorait par ailleurs l'absence de carte fiable du cours de la Seine : ses lecteurs doivent "considérer la petite Carte du

¹. G. GOHAU, *Histoire de la géologie*, Paris : La Découverte, 1987.

². Buffon lui donne soixante-quinze mille ans dans ses *Epoques de la nature* (1778), ce qui lui vaut déjà des critiques de l'Eglise, et plus de trois millions d'années dans son manuscrit. *Ibid.*, pp. 101-102.

³. *Encyclopédie* (...), t. XVI, *op. cit.*, art. "Terre, couches de la".

⁴. P. PETIT, *Discours fait en l'assemblée de l'Hostel de Ville, tenuë le 24 may 1658 touchant les remedes qu'on peut apporter aux inondations de la Riviere de Seine*, Paris, 1658, p. 3.

⁵. *Ibid.*, p. 37.

⁶. *Ibid.*, p. 38.

cours de la Rivière, comme la meilleure de celles que j'ay pû trouver, estant pitoyable que nous n'en ayons point d'asseurée"¹.

Mais l'observation méticuleuse des hauteurs de la Seine est le fait du XVIII^e siècle, d'abord sous l'impulsion de scientifiques isolés : en 1703, Amontons demande à l'un de ses amis de relever quotidiennement le niveau de l'eau au pont Neuf, "sur une graduation immobile qu'il y avoit posée, & qu'il voyoit avec une Lunette"². En effet, selon le rapporteur de son mémoire, "Tout est à observer, & l'obscurité de la Phisique ne vient peut-être pas plus de ce que les causes sont cachées, que de ce que les causes même sont encore inconnues"³. L'analyse des observations (menées du 14 septembre 1703 au 31 décembre de l'année suivante) en fonction de l'occurrence de pluies, permet à Amontons d'affirmer que "les eaux ne baissant pas aussi promptement qu'elles montent, il est vraisemblable que les Rivières dans le temps qu'elles sont grosses, poussent dans la terre des eaux qui leur reviennent ensuite, & servent à les entretenir."⁴

Le rapporteur conclut en soulignant l'intérêt qu'il y aurait à poursuivre ce type d'observations⁵, dans la mesure où l'on ne dispose jusqu'à présent que de données éparses, marques laissées sur le bâti par les inondations ou matérialisées après celles-ci : "Il y a à Paris sur la rivière de Seine différents endroits, où l'on a marqué jusqu'à quel point elle étoit montée dans des débordements considérables, & les temps où ils étoient arrivés"⁶, et

"Presque tout le monde connoît l'inscription en marbre qui est dans le cloître des Célestins, pour l'inondation du 28 février 1658 [...]

"On trouve à la Maison-blanché [...] près de la barrière St. Bernard, les marques des inondations de 1679, 1711 & 1740. [...]"⁷

Elles sont à l'origine d'une première tentative d'historique des crues du fleuve : "L'année 1719, où la quantité de pluye ne fut que de 9 pouces 4 lignes, au lieu de 19 pouces qui en sont la quantité moyenne, ayant été extrêmement sèche, & par conséquent la rivière fort

¹. *Ibid.*, p. 2.

². "Sur les différentes hauteurs de la Seine en différents temps", compte-rendu du mémoire d'Amontons, *H.A.R.S.*, 1705, p. 33.

³. *Ibid.*, p. 32.

⁴. *Ibid.*, p. 34.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁶. "Diverses observations de physique générale", *H.A.R.S.*, 1720, p. 10.

⁷. DEPARCIEUX, "Mémoire sur les inondations de la Seine à Paris", *M.A.R.S.*, 1764, p. 459.

basse, M. Delisle le cadet eut la curiosité de mesurer de combien elle étoit au dessous des marques de ces débordements."¹

Il faut cependant attendre un fait majeur, la crue de 1740, et un homme-clef, Philippe Buache, pour que se précisent les connaissances en matière de géographie physique urbaine.

Disciple et protégé du géographe Delisle, P. Buache (1700-1773) abandonne dès 1721 l'architecture², qu'il exerçait sous la direction de Robert Pitrou, pour entrer au Dépôt des Plans, Cartes et Journaux de la Marine³ ; sa production s'y poursuivra sans discontinuer jusqu'en 1771⁴. Il est nommé premier géographe du roi en 1729 et entre à l'Académie des Sciences l'année suivante, en même temps que la géographie. Dès 1737⁵, il commence à élaborer la théorie, publiée en 1752⁶, qui explique à la fois les sentiments mitigés et surtout fluctuants de la communauté scientifique à son égard et ses travaux menés en parallèle sur la ville de Paris. Architecte, P. Buache veut donner une charpente au globe, car "ce que l'on a connu jusqu'à présent des chaînes de montagnes ne [suffit] pas pour déterminer la suite non interrompue des lieux les plus élevés de la terre (car l'on avouera aisément que les Géographes & les Physiciens ont trop négligé cette partie de la Géographie)"⁷ ; hydrographe, il fonde sa théorie sur la notion de *bassin versant*, terme qu'il n'emploie pas, mais qui est sous-jacent dans son mémoire :

"On ne peut disconvenir que les sources des fleuves & des rivières n'indiquent naturellement l'élévation des terrains où elles prennent leurs eaux pour arroser & fertiliser les pays qu'elles

¹. "Diverses observations de physique générale", *loc. cit.*

². Après avoir obtenu la même année le premier prix de l'Académie d'Architecture pour un plan d'église. J. P. EPRON, *L'école de l'Académie (1671-1793) ou l'institution du goût en architecture*, Villers-les-Nancy : Ecole d'Architecture de Nancy, 1984, p. 143.

³. N. BROU, "Un géographe dans son siècle : Philippe Buache (1700-1773)", *XVIIIe siècle* 3, 1971, p. 223. Le dépôt est créé en 1720. E. TAILLEMITE, "Les cartes anciennes au Service Hydrographique de la Marine conservées aux Archives Nationales", in : F. BARBIER (ed.), *La carte manuscrite et imprimée du XVIe au XIXe siècle*, Munich : K. G. Saur, 1983, p. 19.

⁴. GRANDJEAN de FOUCHY, "Eloge de M. Buache", *H.A.R.S.*, 1773, pp. 135-148.

⁵. BROU, *op. cit.*, p. 225.

⁶. P. BUACHE, "Essai de géographie physique où l'on propose des vues générales sur l'espèce de charpente du globe composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres avec quelques considérations particulières sur les différents bassins de la mer et sur sa configuration intérieure", *M.A.R.S.*, 1752, pp. 399-416.

⁷. *Ibid.*, p. 402.

parcourent en descendant des hauteurs, par une pente plus ou moins sensible, jusqu'à la mer où elles vont se rendre. On ne peut douter non plus de la liaison & du rapport que les montagnes ont avec les rivières, & que les distributions des premières ne soient aussi variées que les directions des secondes sont différentes ; de manière que l'on conçoit en général, que des fleuves qui ont leur cours à l'occident ou à l'orient, désignent la situation des grandes chaînes de montagnes du nord au sud, & que ceux qui coulent vers le midi ou le nord, la marquent de l'occident à l'orient."¹

Ainsi l'armature de la terre est-elle constituée par la suite ininterrompue des chaînes de montagnes, dont l'objet principal est de permettre le partage des eaux. "Système géographique cohérent"² qui comble un vide dans le paysage scientifique³, la théorie de P. Buache est accueillie à bras ouverts par ses contemporains, et en particulier par les ingénieurs géographes qui entérineront la description et le découpage du territoire par chaînes de montagnes et bassins versants⁴. Pourtant, si elle est juste du point de vue hydrographique, elle pêche par sa généralisation et sa systématisation abusives du lien entre taille du fleuve et du bassin versant d'une part et hauteur des montagnes qui le circonscrivent d'autre part. P. Buache invente ainsi un monde théorique, comme le montre Numa Broc :

"Il ne lui reste plus qu'à parsemer ses cartes d'interminables rubans montagneux, linéaires, sans épaisseur, car leur seule fonction est de séparer efficacement les eaux courantes. [...] des chaînes fictives apparaissent dans les endroits les plus inattendus, comme la Beauce, qui se voit nantie d'une chaîne de revers, ou le modeste plateau de Valdaï, qui devient un nœud orographique comparable au Saint-Gothard."⁵

¹. *Ibid.*, *loc. cit.*

². BROU, *loc. cit.*

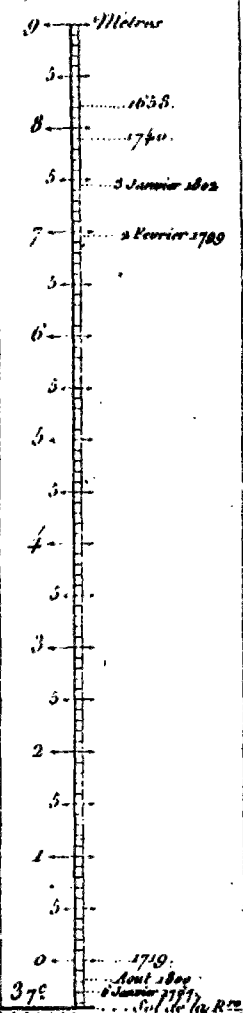
³. Cependant, Lucie Lagarde souligne que l'idée de la continuité des chaînes de montagnes est adoptée dès le XI^e siècle par les géographes arabes tel Al-Biruni selon lequel "il doit être admis que dans la partie inhabitée du monde les hautes montagnes sont contiguës, liées l'une à l'autre de telle façon qu'elles pourraient être considérées comme les vertèbres de la Terre", puis plus tard et plus près de nous par Jacob Perex de Valence au XVe et le père Athanasius Kircher au XVII^e siècle. L. LAGARDE, "Philippe Buache 1700-1773", *Geographers bibliographical studies* 9, 1985, p. 23.

⁴. A. GUILLERME, *Genèse du concept de réseau : territoire et génie en Europe de l'Ouest, 1760-1815*, rapport de recherche pour le Ministère de l'équipement et du logement, Noisy-le-Grand : L.T.M.U., 1988, p. 36 sq.

⁵. BROU, *Les montagnes au siècle des lumières : perception et représentation*, 2^e éd. [1^{ère} éd. 1969], Paris : Ed. du C.T.H.S., 1991, p. 58. Ce ne sont pas les seules aberrations que l'on peut reprocher à Buache, qui a beaucoup conjecturé sur les régions méconnues du monde.

de l'Echelle gravée
sur la culée du Pont
de la Tournelle, à l'É-
paulement d'Amont
du côté de l'Isle de
la Fraternité).

ECHELLE



Journal des Crues et diminutions de la Rivière observées dans Paris.

Jours du Mois	Janvier		Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Juillet	
	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.	M ^{te}	Cent.
1.														
2.														
3.														
4.														
5.														
6.														
7.														
8.														
9.														
10.														
11.														
12.														
13.														
14.														
15.														
16.														
17.														
18.														
19.														
20.														
21.														
22.														
23.														
24.														
25.														
26.														
27.														
28.														
29.														
30.														
31.														

La hauteur de la Rivière est mesurée à l'échelle qui est gravée sur la culée du Pont de la Tournelle, rive droite. Cette hauteur se compte en partant du zéro qui a été placé au point des plus basses eaux de 1719.

Les nombres de l'échelle du pont des Tuileries marquent 80 centimètres de plus, parcequ'ils partent du fond de la rivière à l'endroit où il y a le moins d'eau vis-à-vis d'Auteuil.

Lorsque la rivière est à 1^{re} 21^e elle est dans son état moyen ou dans son état le plus naturel, suivant les calculs de M. Delalande.

En 1658, l'eau a monté à 8^m 23^e suivant M. Desparcieux (Mémoires de l'Académie, Année 1762 et 1764). C'est la plus forte crue qui ait été observée.

En 1767 le 6 Janvier, la rivière étoit de 27^e plus basse qu'en 1719, c'est la plus grande sécheresse dont on ait conservé la mémoire.

Figure 22. Extrait d'une feuille de relevé du niveau de la Seine au pont de la Tournelle (début du XIX^e siècle).

Source : PRONY (documents attribués à), Nivellement de la Seine dans la traversée de Paris, étiages, crues, etc... Documents de 1764 à 1810 environ, Bibliothèque de l'É.N.P.C., ms 4° 1625.

Scientifiquement dépassée dès 1780, cette théorie restera longtemps au premier plan : l'héritier et neveu de P. Buache, Jean-Nicolas Buache de la Neuville, ne cessera de la professer jusqu'à sa mort en 1825, si bien que "l'enseignement de la géographie par bassins fluviaux [a] sévi dans l'enseignement français jusqu'à la fin du XIX^e siècle"¹. C'est pourquoi P. Buache eut de fervents détracteurs, tel Ludovic Drapeyron, qui lui reproche d'avoir, en la fondant, asphyxié la géographie physique².

Ses vues conduisent P. Buache à accorder un intérêt particulier au relief terrestre, et, imaginant des chaînes continues, à préconiser que "le niveau, ou la surface [de la mer], doit être regardé comme un terme commun ou mitoyen, qui servira de comparaison pour y rapporter les différences de hauteurs & de profondeurs"³, en un temps où tout peut servir de référent aux altitudes.

Cette théorie, P. Buache va l'appliquer au milieu urbain. Dès 1730, et jusqu'en 1767, il étudie le régime de la Seine dont la hauteur n'est alors repérée, pour la navigation, que par rapport à l'échelle du Pont Royal :

"les divisions de cette Echelle ne commencent pas à la ligne du fond de la Rivière auprès du Pont-Royal mais seulement à celle qui répond à la surface du banc nommé le Nœud d'aiguillette, qui se trouve entre la demi-lune du cours et Chaillot. Ce banc étant un des endroits où la Rivière a le moins de fond depuis Paris jusqu'à Rouen, il est très-important de savoir combien il y a d'eau au-

1. BROCC, "Un géographe (...)", *op. cit.*, p. 228. En effet, l'influence pédagogique de Buache est non négligeable dans la mesure où il mit au point un programme d'enseignement de la géographie basé sur l'utilisation de cartes et de globes terrestres, expérimenté sur les princes de France. GRANDJEAN de FOUCHY, *op. cit.*, p. 148.

2. DRAPEYRON, *op. cit.*, pp. 7-17. En Amérique du sud par exemple, Buache a toujours nié le lien qui unit le Rio Negro à l'Orénoque, par l'intermédiaire du canal naturel du Cassiquiare, alors que dès 1744 son existence était attestée par un jésuite espagnol, le frère Manuel Roman (D. BOTTING, *Humboldt, un savant démocrate*, Paris : Belin, 1988, pp. 123-124) : cette bizarrerie hydrographique n'entrait pas dans le système de Buache qui écrit : "Ainsi, ces communications ne sont point naturelles ; elles ne s'accordent pas avec les monuments historiques & les relations les plus exactes ; enfin elles sont contraires aux principes de cette Physique de notre globe qui montre les points de partage naturel des terrains, par la continuité des hauteurs" (P. BUACHE, "Mémoire sur les différentes idées qu'on a eues de la traversée de la mer Glaciale arctique, & sur les communications ou jonctions qu'on a supposées entre diverses rivières", *M.A.R.S.*, 1754, p. 18). Son crédit était tel qu'il fallut attendre le voyage d'Alexandre von Humboldt (1800) pour que l'Europe accepte cette idée : "Mon voyage a complètement détruit, je l'espère, les doutes qu'un géographe célèbre, Buache, avaient soulevés sur la possibilité d'une communication entre l'Orénoque et la rivière des Amazones." (A. von HUMBOLDT, *Tableaux de la nature*, trad. de C. Galuski, nouvelle éd. [1^{ère} éd. 1808], Paris, 1868, p. 269).

3. P. BUACHE, "Essai de géographie physique (...)", *op. cit.*, p. 401.

dessus ; c'est pour cet objet que cette Echelle a été construite, & que le *Maître du Pont-Royal* fait savoir aux marchands de Rouen quelle est la hauteur de l'eau au-dessus de ce banc de Chaillot."¹

Cette échelle ne satisfait pas pleinement P. Buache, qui en fait établir une sur le pont de la Tournelle² dont le zéro correspond aux basses eaux de 1719 qui avaient marqué l'histoire du fleuve³ (figure 22), accumulant et traitant une énorme masse de données sur le fleuve.

Mais ce sont surtout ses observations de la crue de décembre 1740 qui nous paraissent importantes. En effet, P. Buache ne se contente pas de relever les hauteurs d'eau au pont Royal ou au pont de la Tournelle⁴ :

"J'ai rapporté sur le plan général joint à ce Mémoire, les différents Plans particuliers sur lesquels j'ai marqué presque jour par jour les différentes étendues de l'inondation, suivant que je l'avois observée moi-même dans les lieux les plus importants ; & comme il n'étoit pas possible que je me trouvasse par-tout en même jour, j'avois commis des personnes pour faire des observations que j'ai vérifiées aussitôt qu'elles m'ont été remises."⁵

Sa carte, qui présente la situation "lors de la plus grande élévation des eaux, le 25 décembre"⁶, distingue les zones inondées par la Seine et par les égouts, celles où seules les caves ont été affectées (figure 23).

¹. P. BUACHE, "Observations sur l'étendue et la hauteur de l'inondation du mois de décembre 1740", *M.A.R.S.*, 1741, pp. 336-337.

². BROU, "Un géographe (...)", *op. cit.*, p. 230.

³. "Diverses observations de physique générale", *H.A.R.S.*, 1724, pp. 15-19 (§ II).

⁴. Qui sont données, pour ce dernier pont, par Bonamy. BONAMY, "Mémoire sur l'inondation de la Seine à Paris, au mois de décembre 1740, comparée aux inondations précédentes ; avec des remarques sur l'élévation du sol de cette ville", *Mémoires de littérature, tirés des registres de l'Académie royale des inscriptions et belles lettres* XVII (1741-1743), 1751, p. 708.

⁵. P. BUACHE, "Observations sur l'étendue et la hauteur de l'inondation du mois de décembre 1740", *op. cit.*, p. 335.

⁶. *Ibid.*, pl. XI : "Plan du cours de la Seine dans la traversée de Paris, relatif aux observations faites par Phil. Buache sur l'étendue et la hauteur de l'inondation du mois de décembre 1740", 1/20 000 env.

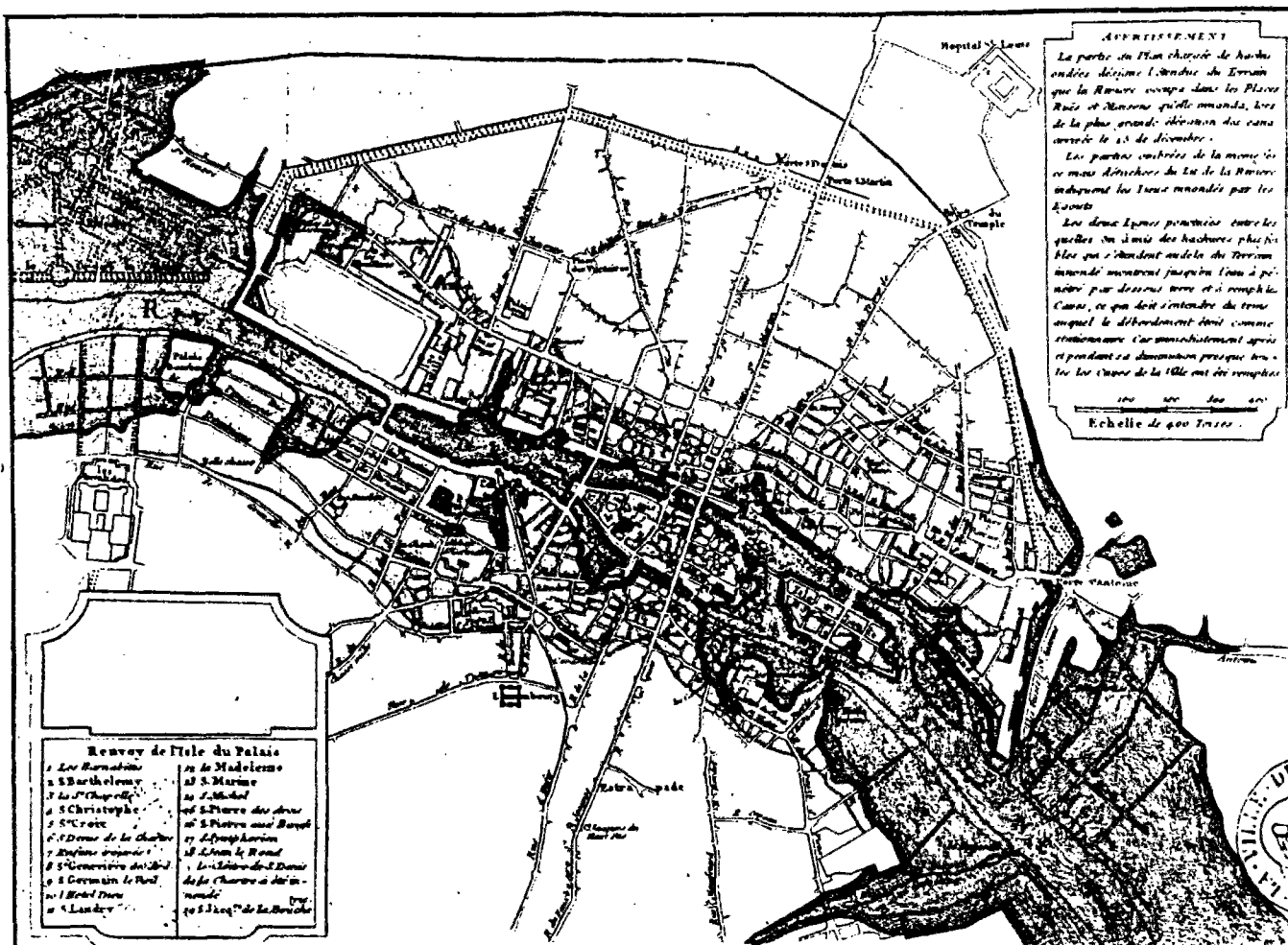


Figure 23. Plan de l'inondation de 1740.

Source : P. BUACHE, "Observations sur l'étendue et la hauteur de l'inondation du mois de décembre 1740", *M.A.R.S.*, 1741, pl. XI.

Ceci l'amène à s'intéresser à la topographie de la capitale, et il expose l'année suivante à l'Académie des Sciences un "Plan hydrographique de la ville de Paris"¹, accompagné "de plans & de profils détaillés & curieux"², selon l'expression de l'ingénieur des Ponts et Chaussées Deparcieux. Les deux premiers nous présentent le "cours de la Seine dans l'étendue de Paris, avec les chutes des ruisseaux qui s'y jettent

¹ P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique de la ville de Paris", *M.A.R.S.*, 1742, pp. 371-378, pl. XIII, XIV, XV.

² DEPARCIEUX, *op. cit.*, p. 457.

directement [...] [et] les diverse fontaines de cette ville"¹ ainsi que les bassins versants de la ville et "les rues dont on a les pentes par les nivellemens faits dans les diverses quartiers de Paris"² (figure 24) ; P. Buache ne se contente pas de définir la ligne de partage des eaux³ (notamment entre le Grand-Egout et la Seine), il propose d'en tirer les enseignements : "ce point est d'une grande importance dans les incendies, parce qu'il montrera quels sont les endroits où il faudra ouvrir les tuyaux des fontaines & faire tirer l'eau des puits, & quels sont ceux où il faudra construire les bâtardeaux pour retenir l'eau de façon qu'elle puisse être employée utilement au service des pompes."⁴

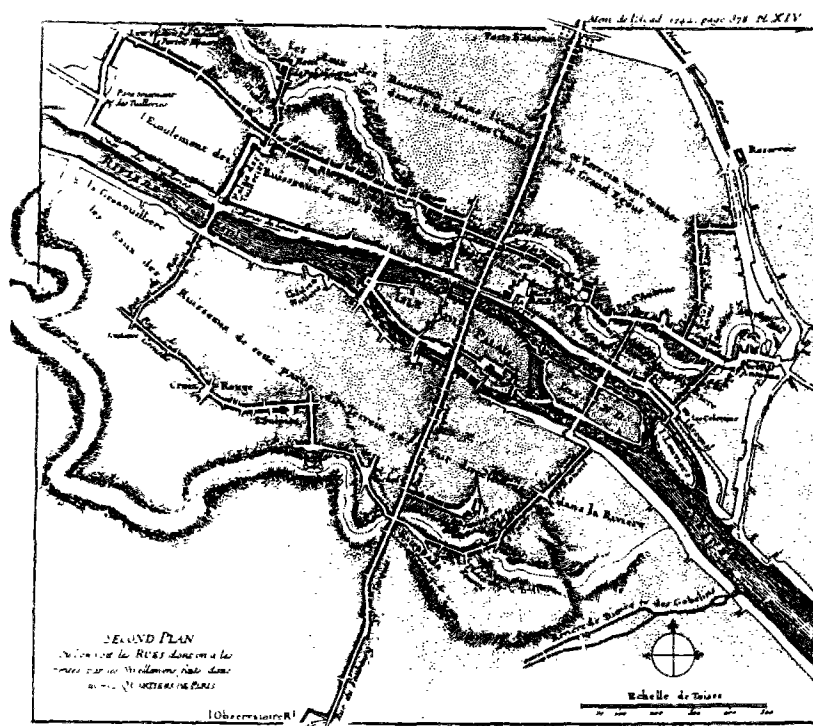


Figure 24. Rues nivelées par P. Buache et bassins versants de Paris.

Source : P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique de la ville de Paris", M.A.R.S., 1742, pl. XIV.

¹. P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique (...)", *op. cit.*, pl. XIII.

². *Ibid.*, pl. XIV.

³. Nous avons insisté sur le raisonnement hydrographique de Buache ; cependant, Broc (*Les montagnes (...)*, *op. cit.*, p. 58) signale que le concept de bassins versants est dû à L. Coulon (*Les rivières de France*, 1644) et à J. François (*Science de la géographie*, 1652).

⁴. P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique (...)", *op. cit.*, p. 371.

Enfin, P. Buache donne une partie des résultats de la campagne de nivellements qu'il a effectuée dans la ville, et qui constitue à proprement parler le premier nivellement d'ampleur de la capitale. Malheureusement, seule une partie de celui-ci est arrivée jusqu'à nous, la "Coupe de la ville de Paris prise du septentrion au midy depuis la porte Saint-Martin jusqu'à l'Observatoire", dont une version simplifiée et réduite figure dans son "Exposé d'un plan hydrographique (...) "¹ (figure 25), et qui a été publiée par ailleurs *in extenso*². Cette coupe repère les altitudes par rapport au "rez-de-chaussée de l'observatoire du côté nord" et au "sol de la rivière au plus profond de son lit sous l'arche du milieu du pont Royal", et comprend des indications sur la hauteur comparée des édifices remarquables, le niveau de l'eau dans les différents puits rencontrés : "ces différentes profondeurs comparées avec le niveau du lit de la rivière, font voir l'existence d'une espèce de nappe d'eau souterraine qui descend des terres vers la rivière"³. L'inondation de 1740 a conduit à une augmentation du niveau de la nappe, qui a eu pour effet :

"d'en faire refluer les eaux dans des endroits éloignez de la rivière entourez par des bancs de roche ou de glaise qui s'opposant à leur écoulement, les ont retenues [...]. Ces observations ne sont pas de simple curiosité, il faudrait y avoir égard dans la construction des maisons comprises dans cet espace, soit pour régler la solidité des fondations, soit pour l'exhaussement du rez-de-chaussée."⁴

Outre que P. Buache utilise pour la première fois dans le vocabulaire scientifique le terme de *nappe souterraine*, qu'il montre l'intérêt opérationnel de la connaissance des bassins versants urbains, son apport est essentiel dans le domaine de la cartographie urbaine — généralement absente des topographies médicales — : la ville est vue en plan et en coupe — mode de représentation fort utilisé au XVIII^e siècle — et cette dernière permet l'analyse du comportement du sous-sol.

¹. *Ibid.*, pl. XV.

². P. BUACHE, *Coupe de la ville de Paris prise du septentrion au Midy depuis la porte Saint Martin jusqu'à l'observatoire en passant par l'Isle du Palais*, Paris, 1742, 1/3 000 (horizontal), 1/600 (vertical).

³. P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique (...)", *op. cit.*, p. 371.

⁴. *Ibid.*, p. 372.

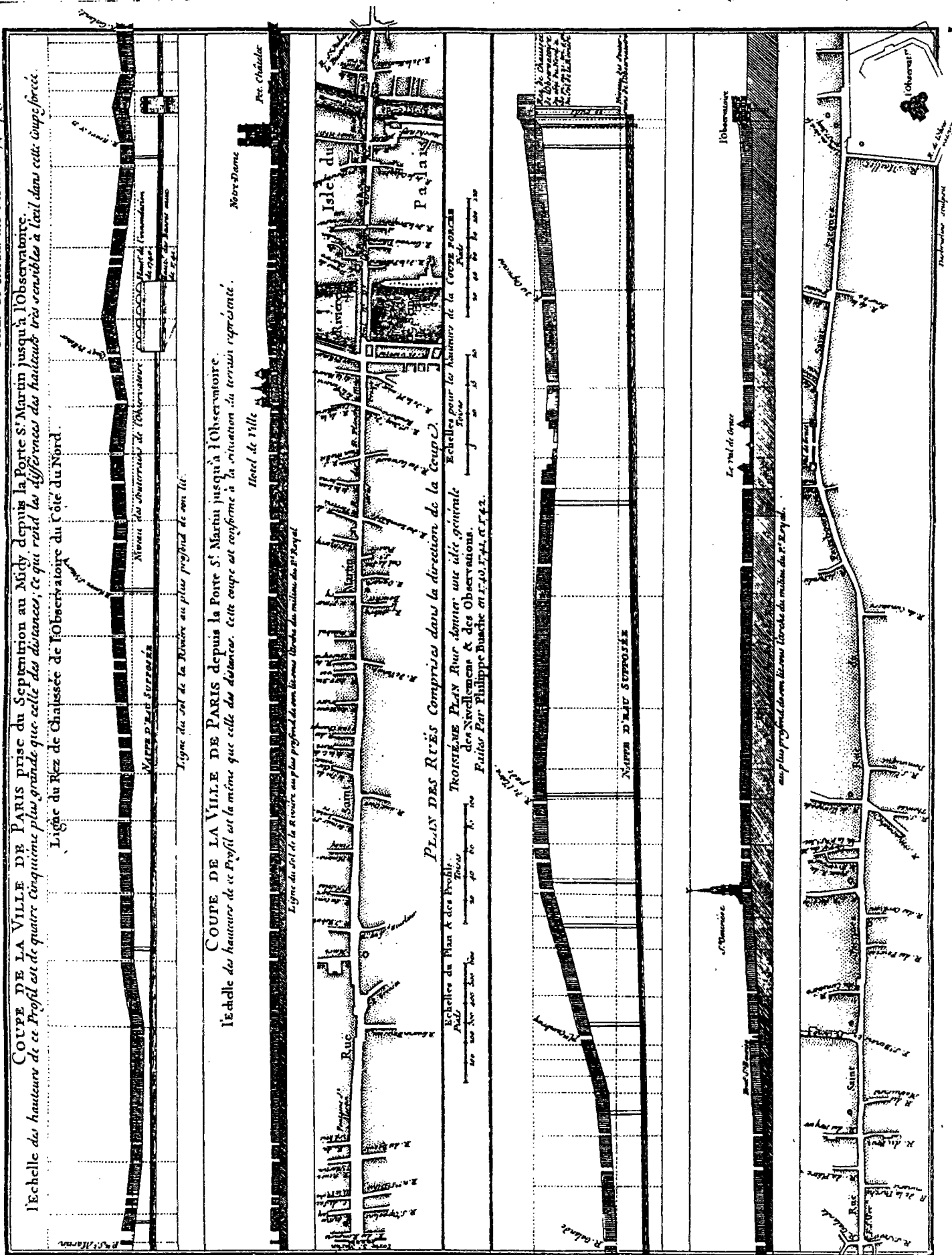


Figure 25. Coupe de la ville de Paris de la porte Saint-Martin à l'Observatoire.

Source : P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique de la ville de Paris", *M.A.R.S.*, 1742, pl. XV.

D'ailleurs, l'apport cartographique de P. Buache ne se cantonne pas à la figure de la ville¹ : en effet, il réalise dans les années 1730 diverses cartes dont une *Carte physique et profil du canal de la Manche*, présentée à l'Académie des Sciences en 1737 et publiée en 1752, sur laquelle figurent les courbes de niveau marines avec une équidistance de 10 brasses. La courbe de niveau n'est, au XVIII^e siècle, pas rentrée dans les mœurs, et ne sert qu'à la cartographie marine (figure 26), comme l'a montré le Père de Dainville². P. Buache lui permettra de sortir des ondes la première théorie terrestre des courbes de niveau étant due à Du Carla en 1782³. Il nous semble en effet, comme à Dainville pour lequel il y a continuité entre la cartographie maritime et la cartographie terrestre⁴, et à Lagarde⁵, que les travaux de Du Carla se situent en droite ligne de ceux de Philippe Buache. Cependant, ce n'est pas l'opinion de Josef Konvitz, qui affirme : "Ce point de vue pêche pour deux raisons. D'une part, l'utilisation des isobathes sur les cartes marines n'était pas encore entrée dans la norme. D'autre part, le recours aux courbes de niveau pour représenter le relief terrestre après 1750 doit très peu à l'utilisation des isobathes

1. Voir à ce sujet : E. CLOUZOT, "Une enquête sismologique au XVIII^e siècle", *La Géographie*, 1914, pp. 1-22 ; G. KISH, "Early thematic mapping : the work of Philippe Buache", *Imago mundi* 28, 1976, pp. 129-136 ; LAGARDE, *op. cit.*, p. 24. C'est une des raisons pour lesquelles Philippe Buache est aujourd'hui quelque peu rentré en grâce. On souligne en outre la cohérence du système qu'il proposait, les applications pratiques qu'il faisait de ses travaux (BROC, "Un géographe (...)", *op. cit.*, pp. 228-234) ; ses efforts en matière de terminologie, et même son pressentiment de la tectonique des plaques (LAGARDE, *op. cit.*, p. 25). En digne successeur de son oncle, Buache de la Neuville poursuivra dans cette voie puisqu'il est l'auteur d'une des premières «cartes d'orage» du monde (J. DETTWILLER, "L'orage du 13 juillet 1788", *La Météorologie* VI^e série (24), mars 1981, p. 107).

2. F. de DAINVILLE, "De la profondeur à l'altitude : des origines marines de l'expression cartographique du relief terrestre par cotes et courbes de niveau", réimpression [1^{ère} éd. in : *Le navire et l'économie maritime du Moyen-Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée*, Paris, 1958, pp. 195-213], in : DAINVILLE, *La cartographie, reflet de l'histoire*, Genève/Paris : Ed. Slatkine, 1986, pp. 441-457.

3. DU CARLA, *Expression des nivellemens ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain ; (...) publié par M. Dupain-Triel père (...)*, Paris, 1782.

4. DAINVILLE, *op. cit.*, pp. 442, 448-449.

5. LAGARDE, *op. cit.*, p. 24.

auparavant."¹ Pourtant, Du Carla semble répondre à Buache quant au choix du zéro² et reprend ses idées quant à la différence de densité des deux hémisphères³.



Figure 26. Premières courbes de niveau marines, fragment de la Carte de l'estuaire de l'île de Goeres de Nicolas Cruquius (1733).

Source : F. de DAINVILLE, "De la profondeur à l'altitude : des origines marines de l'expression cartographique du relief terrestre par cotes et courbes de niveau", in : DAINVILLE, *La cartographie, reflet de l'histoire*, Genève/Paris : Ed. Slatkine, 1986, p. 444.

Par ailleurs, les nombreuses cartes de la Seine en aval de Paris produites par P. Buache, quoiqu'elles n'eussent pas été imprimées, furent encore utilisées en l'an III pour étudier les projets de canalisation de la Seine⁴. En outre, il innove encore une fois en

¹. J. KONVITZ, *Cartography in France, 1660-1848 : science, engineering, and statecraft*, Chicago : The university of Chicago press, 1987, p. 71. Voir aussi p. 79.

². DU CARLA, *op. cit.*, pp. 45 sq.

³. *Ibid.*, pp. 47 sq. (où il fait d'ailleurs allusion à une carte de Buache) ; LAGARDE, *op. cit.*, p. 24.

⁴. KONVITZ, *op. cit.*, p. 110.

présentant une carte synthétique du bassin de la Seine "conformément à cette considération de la Géographie physique selon laquelle j'ai comparé un fleuve à un arbre"¹, et "une espèce de Carte, dans laquelle il avait trouvé moyen de présenter les plus grandes et les plus basses eaux de la Seine à Paris, observée de mois en mois, pendant 35 ans [de 1732 à 1767]"² ; plus que d'une carte, il s'agit d'un diagramme des hauteurs d'eau³. Il ne faut pas perdre de vue que la pose de l'échelle du pont de la Tournelle, dont on possède des relevés quotidiens depuis 1732⁴, a permis la première étude statistique des variations du niveau de la Seine⁵.

Aussi, si la théorisation de P. Buache paraît parfois aberrante, faut-il bien reconnaître que, sans elle, le géographe n'aurait pu découvrir la figure de la ville.

L'analyse des crues est aussi l'occasion de s'intéresser à l'exhaussement urbain. En effet, jusqu'au XIXe siècle, la ville s'enterre :

"Depuis la fin du XIIIe siècle, la ville ne cesse de s'enfoncer dans le sol. Les destructions du bâti en sont la cause principale. Les améliorations successives de l'habitat rejettent à la rue gravats et plâtras, rarement évacués à l'extérieur de la ville. [...] Le niveau du sol s'exhausse insensiblement avec le temps tandis qu'à l'intérieur de la maison il reste stable, à peine s'élève-t-il de quelques centimètres à l'occasion d'un carrelage. Pour se protéger des boues et des eaux de ruissellement, on élève un seuil devant la porte, légèrement au dessus du niveau de la rue. Peu à peu le rez-de-chaussée devient un entresol auquel on accède par des marches. Parfois même il s'enterre sous deux ou trois mètres et devient fosse d'aisances."⁶

1. P. BUACHE, "Exposé de divers objets de la géographie physique, concernant les bassins terrestres des fleuves & des rivières qui arrosent la France, dont on donne quelques détails et en particulier celui de la Seine", *M.A.R.S.*, 1767, p. 505.

2. GRANDJEAN de FOUCHY, *op. cit.*, p. 145.

3. P. BUACHE, "Exposé de divers objets (...)", *op. cit.*, p. 508, pl. 17 et P. BUACHE, *Profils représentant la crue (...) de la Seine (...)*, 1770. Bibliothèque Nationale, département des Cartes et Plans, Ge D 10049.

4. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *Etudes préliminaires : la Seine (...)*, Paris, 1873, p. 311. On trouve aux Archives Nationales (F²⁰ 287) les relevés pour la période 1777-1811.

5. DAUSSE, *Statistique des variations du niveau de la Seine, à Paris, dans le cours des quarante-neuf années comprises de 1777 à 1825*, s. l. n. d. [remis à l'Académie le 5 déc. 1831]. L'étude du régime hydraulique des cours d'eau est d'ailleurs pour partie à l'origine d'une branche de la statistique, celle des extrêmes. E. J. GUMBEL, *Statistics of extremes*, New York, 1958, p. 4.

6. A. GUILLERME, *Les temps de l'eau (...)*, *op. cit.*, p. 171.

Et Pierre Nicolas Bonamy¹ essaye de trouver la raison du déplacement des zones inondées depuis le XII^e siècle, grâce à une analyse minutieuse des textes et à une observation non moins méticuleuse de l'exhaussement différentiel : "Le terrain de la Ville & celui de l'Université qui borde la rivière, n'étoient pas plus élevé que celui de la Cité. On a trouvé des restes du pavé de Philippe-Auguste, à six pieds sous le pavé de la rue du Petit-Pont, lorsque l'on travailloit en 1740 à la construction d'un Aqueduc"², nous dit-il entre autres. D'ailleurs, l'exhaussement n'épargne pas le fleuve :

"car on ne conçoit pas, s'il avoit été au même état où nous le voyons, comment les Parisiens auroient pû demeurer dans la Cité, sans être exposés à être noyés dans le temps des inondations. Il n'est pas en effet difficile de se persuader, que le lit de la Seine s'est élevé, soit à l'occasion de la ruine des maisons construites sur ses bords, soit à cause de la chute des ponts. [...] Quelque attention que l'on puisse avoir pour nettoyer le lit de la rivière, des décombres le remplissent."³

Le remblai, lorsqu'il est considéré comme inerte, peut donc paraître comme un moyen de se préserver des crues. P. Buache préconise, dans le même but, "l'exhaussement du sol en rez-de-chaussée"⁴. Plus tard, Bralle développe la même argumentation que Bonamy, après avoir décrit de façon apocalyptique l'inondation de 1802⁵ ; l'ingénieur des Ponts et Chaussées Pierre Egault des Noës pense qu'il faut laisser les choses se faire : "Le moyen le plus sûr et le plus simple de mettre Paris à l'abri des inondations est celui que le temps a procuré naturellement, c'est-à-dire l'exhaussement du sol. De très-grands remblais couvrent déjà la vaste prairie sur laquelle Paris s'est élevé ; avant un siècle peut-être, cette capitale ne sera point incommodée des plus grands débordements."⁶

Il est vrai que les modifications du relief n'affectent pas seules le régime du fleuve : Deparcieux après avoir étudié avec P. Buache l'inondation de 1751, publie en 1764 un

¹. Qui obtient grâce à Turgot la place d'historiographe de la ville de Paris, et est chargé de sa bibliothèque après le don qu'en fit Moreau. Il se livre à plusieurs études sur la topographie de la capitale ; voir par exemple : BONAMY, "Sur le cours de la rivière de Bièvre ou des Gobelins", *Histoire de l'Académie royale des inscriptions et belles lettres* (...) XIV (1738-1740), 1743, pp. 267-283.

². BONAMY, "Mémoire sur l'inondation de la Seine (...)", *op. cit.*, p. 687.

³. *Ibid.*, pp. 687-688.

⁴. P. BUACHE, "Exposé d'un plan hydrographique (...)", *op. cit.*, p. 372.

⁵. C. BRALLE, *Précis des faits et observations relatifs à l'inondation qui a eu lieu dans Paris, en Frimaire et Nivôse de l'An X de la République française*, Paris, an XI.

⁶. P. EGAULT, *Mémoire sur les inondations de Paris*, Paris, 1814, cité par BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 298.

travail très complet de comparaison des crues de la Seine, complétant celui de Delisle en 1720. Il peut en conclure que : "Si [...] l'on remarque comment le surplus d'élévation de l'inondation de 1740 sur les 2 autres [1751 et 1764] va en diminuant de l'Arsenal à celui du Pont-tournant ; l'on sentira mieux que par aucun autre moyen, combien les quais, les ponts, & tout ce dont on les a embarrassés, présentent d'obstacles au passage de l'eau"¹ et aggravent considérablement les conséquences des crues. Il se prononce donc pour un suivi régulier du régime de la Seine, critique le choix du zéro de l'échelle de la Tournelle, "parce qu'il est arrivé plusieurs fois depuis les basses eaux de 1719 [...] que la surface de la rivière a été encore plus basse ; ainsi les pieds de cette échelle n'annoncent rien"², et préconise alors la pose d'échelles sur les ponts et quais de Paris : "en réglant toutes les échelles d'après celle du Pont-Royal, mettant pour toutes à la surface de l'eau le même nombre de pieds que marqueroit celle du Pont-Royal, dans un temps où le rivière seroit au plus bas, toutes ces échelles annonceroient quelque chose de réel, & tout le monde s'entendroient."³

Mais il est particulièrement significatif que ces conjectures sur l'exhaussement urbain soient contemporaines des *révolutions de la terre* que nous décrit l'*Encyclopédie* :

"il n'est donc point surprenant que la terre ne nous offre presque à chaque pas qu'un vaste amas de débris & de ruines. La nature est occupée à détruire d'un côté pour aller produire de nouveaux corps d'un autre. Les eaux travaillent continuellement à abaisser les hauteurs & à hausser les profondeurs. Celles qui sont renfermées dans le sein de la terre la minent peu-à-peu, & y font des excavations qui détruisent peu-à-peu ses fondemens. Les feux souterrains brisent & détruisent d'autres endroits ; concluons que la terre a été & est encore exposée à des révolutions continuelles, qui contribuent sans cesse, soit promptement, soit peu-à-peu, à lui faire changer de face."⁴

Comme change la face de la ville, répond en écho le Père Cotte, par ailleurs fondateur de la météorologie contemporaine et animateur de la partie climatologique de l'enquête lancée par Vicq d'Azyr⁵, :

1. DEPARCIEUX, *op. cit.*, p. 466.

2. *Ibid.*, p. 485.

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

4. *Encyclopédie (...)*, t. XVI, *op. cit.*, art. "Terre, révolutions de la".

5. LE ROY LADURIE, DESAIVE, *op. cit.*, p. 25.

"La surface de la ville de Montmorenci paroît avoir aussi éprouvé des révolutions, mais d'un autre genre ; elles ont été occasionnées par les guerres, fort communes autrefois [...]. Pour peu que l'on fouille, on ne voit que décombres de maisons, entassées sur d'anciennes maisons dont le sol sert aujourd'hui de fondation à celles qu'on élève ; on trouve même des crânes & des ossemens humains sous les fondations des anciennes maisons qu'on détruit. Mais ces faits intéressans pour l'Histoire, ne sont pas ceux qui flattent davantage un Naturaliste ; il n'y voit que de tristes débris, fruit de la fureur & de l'acharnement qui a porté, de tout temps, les hommes à s'entre-détruire."¹

Fureur parce que les échelles de temps sont comprimées — même si la terre du XVIII^e siècle n'a que quelques milliers ou dizaines de milliers d'années — :

"la fureur de bâtir l'emporte [...] Les continuelles incursions ou exploitations que nous faisons dans nos carrières, minent, affoiblissent & détruisent insensiblement ces nécessaires & fermes appuis consolidés par le tems, sur lesquels la nature avoit voulu que portât & fût affermie la première croûte du globe. Nous avons la témérité de détruire ces antiques piliers que nous aurions dû respecter."²

Car la ville n'est pas seulement un gouffre métaphorique : en 1774, "un effondrement subit et considérable, arrivé entre le Boulevard Neuf et la Barrière d'Enfer, jetait les premières inquiétudes sur l'état où pouvaient se trouver les anciennes carrières"³ ; neuf personnes y perdirent la vie, si bien qu'en 1777 est créée à Paris l'Inspection des carrières, qui commence aussitôt un énorme travail de relevé à l'échelle de 4 lignes par toise⁴ ($\frac{1}{216}$) : nécessité de la cartographie. Et, pour Delaistre, nécessité de réformer les matériaux de construction : "A Paris où l'on va chercher avec tant de peine et de dépenses les pierres dans les entrailles de la terre pour agrandir cette ville immense et la suspendre en même temps sur des abîmes, je voudrais que la maçonnerie en brique fût ordonnée et que les monuments publics et les palais des princes fussent à l'avenir les seuls bâtis de pierre."⁵

1. COTTE, "Mémoire sur la topographie médicale de Montmorenci & de ses environs", *M.S.R.M.*, 1779, p. 65.

2. GERAUD, *op. cit.*, pp. 95-96.

3. C. A. GUILLAUMOT, *Mémoires sur les travaux dans les carrières de Paris*, Paris, an V, cité par FORTIER, *op. cit.*, p. 114.

4. E. de FOURCY, *Atlas souterrain de la ville de Paris (...)*, Paris, 1855-1860.

5. DELAISTRE, *Encyclopédie de l'ingénieur*, Paris, 1812, vol. 1, pp. 188-189, (art. "brique").

La maîtrise de l'espace est tout aussi nécessaire dans la ville militaire, la place forte. A propos des théories géographiques et géologiques, le Père de Dainville soulignait, en introduisant l'ouvrage de Numa Broc consacré aux montagnes des Lumières : "Sans doute les méfaits de l'esprit de système auraient-ils été moins étendus si les savants avaient confronté leurs résultats avec ceux des ingénieurs d'esprit plus réaliste, qui œuvraient sur les pentes ou se penchaient sur les torrents et les rivières"¹. Dainville aurait même pu préciser que le rôle majeur revient ici aux ingénieurs militaires dont l'apport ne se réduit pas à la gestion technique de l'espace :

"Une implantation plus que séculaire, un souci archivistique impulsé par Vauban et la science même des fortifications, une mobilité relative qui laisse les hommes sur place pendant 5 ou 6 ans, une culture encyclopédique acquise en partie à Mézières qui s'ajoute, pour la plupart, à la culture aristocratique de la famille, font de ces ingénieurs les maîtres à penser la ville et son terroir. Ils en écrivent précisément l'histoire en concentrant leur attention sur la géographie, l'environnement, les communications, le caractère des habitants, etc. [...] s'appuient sur une analyse exhaustive des archives locales."²

Ainsi, comme dans le cas de l'hygiénisme naissant, la notion de milieu est prise dans son acception la plus large.

Maîtrise de l'espace, donc. Celle-ci se décline selon deux cas. D'une part, pour protéger une place-forte, concevoir sa défense, il faut en connaître le relief, en particulier pour le défilement, c'est-à-dire la mise à couvert, la protection, des fortifications :

"On sait que l'opération pratique sur le terrain ne présente pas de grandes difficultés, et qu'avec l'habitude et du coup-d'œil on parvient, après quelques tâtonnements bien dirigés, à déterminer dans l'espace la position des crêtes des parapets des différens ouvrages qui composent une place forte [...] ; mais la question du défilement, traitée théoriquement dans le cabinet, est beaucoup plus difficile"³.

Aussi le corps du Génie s'intéresse-t-il à la topographie précise des villes fortifiées dès les années 1740, et, selon Dainville, "c'est un officier du génie toulonnais, MILET DE

¹. DAINVILLE, "Préface", in : BROC, "Les montagnes (...)", *op. cit.*, p. 12.

². A. GUILLERME, *Genèse du concept de réseau (...)*, *op. cit.*, p. 44.

³. A. DUVIGNAU, *Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications*, Paris, 1830, p. xj (préface de l'éditeur pour cette édition posthume d'un ouvrage achevé en 1768).

MUREAU, qui semble avoir eu, le premier, l'idée du *plan coté terrestre*¹, en 1749 (figure 27).

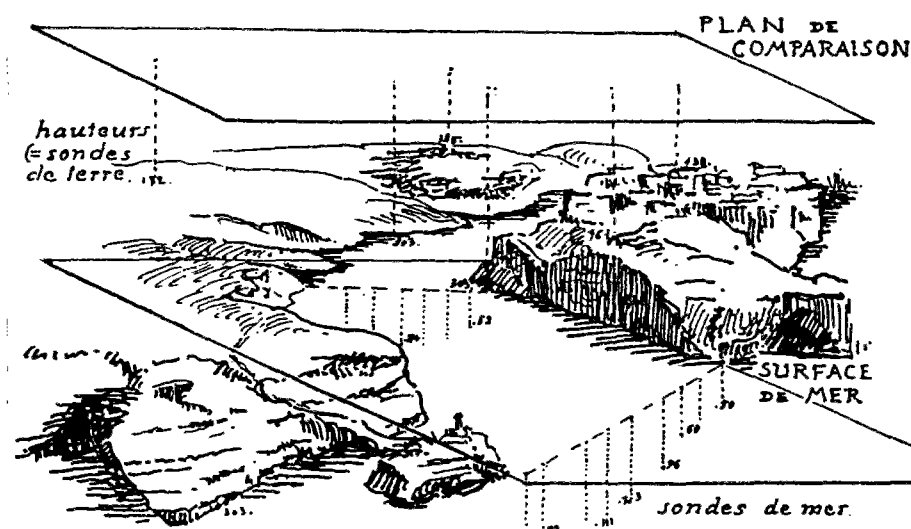


Figure 27. Plan de comparaison utilisé par Milet de Mureau pour la ville de Bonifacio.

Source : F. de DAINVILLE, "De la profondeur à l'altitude : des origines marines de l'expression cartographique du relief terrestre par cotes et courbes de niveau", in : DAINVILLE, *La cartographie, reflet de l'histoire*, Genève/Paris : Ed. Slatkine, 1986, p. 450.

Les plans réalisés comportent des points repérés par leur cote d'altitude à partir d'un plan imaginaire toujours situé au-dessus du point le plus haut du site étudié², ce "qui n'est autre chose que la méthode employée sur les cartes marines pour y indiquer les profondeurs des sondes rapportées à la surface des eaux"³, c'est pourquoi jusqu'en 1860 les altitudes auront des repères hétéroclites⁴, nous y reviendrons. Chastillon, directeur de

¹. MILET DE MUREAU, *Mémoire pour faciliter les moyens de projeter dans les pays de montagnes*, adressé au ministre le 13 déc. 1749 (Bibliothèque de l'Inspection du Génie, Fortifications, Théorie, Carton 4 n°5), cité par DAINVILLE, "De la profondeur à l'altitude (...)", *op. cit.*, p. 449.

². DUVIGNAU, *op. cit.*, pp. 8-9.

³. *Ibid.*, pp. xij-xijj.

⁴. Cf. *infra*, chap. II, § II.1.2, a : "Le plan et le zéro".

l'école du Génie de Mézières, y enseigne cette technique de représentation et un atlas des places fortes est réalisé de 1774 à 1789 (conservé à la bibliothèque de l'Inspection du Génie). L'officier du Génie J. B. Meusnier, élève de Monge dont il utilise la toute nouvelle géométrie descriptive et expérimentateur de Lavoisier, proposera en 1777 d'adopter la représentation par courbes de niveau terrestre¹ : "cette méthode géométrique donna un nouvel essor aux idées"², souligne en 1830 l'éditeur du successeur de Chastillon, Duvignau. Mais le mémoire de Meusnier, écrit à des fins militaires, ne fut pas publié, donc la technique préconisée peu diffusée en dehors du Génie, secret militaire oblige³.

b) Les terres mécaniques

Mais connaître la forme de la ville et du territoire ne suffit pas : la construction de fortifications, comme la réalisation d'ouvrages hydrauliques et de bâtiments civils, nécessitent une compréhension du comportement des sols ou, à défaut, des techniques adaptées à chaque type d'ouvrage. Ici, nous ne rencontrerons point d'exhalaisons, mais une autre question fondamentale, peut-être pas encore résolue aujourd'hui, celle de la *nature physique de la terre*, et encore une fois une préoccupation urbaine et, bien plus, péri-urbaine puisqu'elle se concentre en grande partie sur les fortifications et leur pérennité dans le temps.

Les fondations

Le XVIII^e siècle semble s'être peu intéressé à une théorisation du problème des fondations : la preuve en est que l'autorité de Bullet en la matière n'est pas contestée. On admet qu'il faut reconnaître le sol, mais la méthode de l'architecte peut paraître suffisante et elle sera encore considérée comme telle par Jean-Baptiste Rondelet en 1805 : "il faut avoir une pièce de bois, comme une grosse solive de 6 ou 8 pieds, et battre la terre avec le bout : si elle résiste au coup et que le son paraisse sec et clair, on peut s'assurer que le

¹. J. B. MEUSNIER, *Mémoire sur la détermination du plan de site*, 1777 (Bibliothèque de l'Inspection du Génie, Carton 6, pièce 12, f° 30), cité par DAINVILLE, "De la profondeur à l'altitude (...)", *op. cit.*, p. 450.

². DUVIGNAU, *op. cit.*, p. xiiij.

³. KONVITZ, *op. cit.*, p. 98.

terrain est ferme ; mais si en frappant la terre, elle rend un son sourd et sans aucune résistance, on peut conclure que le fond ne vaut rien."¹

Il est vrai que la culture scientifique des architectes n'est pas celle des ingénieurs et des militaires. Bélidor, qui propose une des premières méthodes de calcul de la poussée des terres, reste cependant très évasif en ce qui concerne le choix et le dimensionnement des fondations, pour l'établissement desquelles il faut avant tout s'entretenir avec les "Ouvriers du pays"². Il distingue trois espèces principales de terrain :

"La première est celle de tuf & de roc, ce dernier est facile à connoître par la résistance que les Terrassiers trouvent à fouiller.

"La seconde espèce de terrain, est celle de Sable dont on distingue deux sortes ; l'un est le Sable ferme & dur sur lequel on n'hésite point à établir des fondemens & l'autre le Sable mouvant, dont le peu de consistance ne permet pas qu'on travaille dessus, sans prendre quelque précaution pour prévenir les accidens. [...] Il se rencontre dans les lieux aquatiques un sable dont il sort de l'eau quand on marche dessus, ce qui le fait nommer *sable bouillant*, qu'on ne doit point confondre avec le mouvant, puisqu'il s'en trouve souvent sur lequel on peut asseoir des fondemens très-solides [...].

"La troisième est celle de terre dont on distingue de quatre sortes, la terre ordinaire, *la grasse*, *la glaise*, & celle de tourbe. La terre ordinaire se trouve dans les lieux secs & élevés, la terre grasse est presque toujours composée de vase sans consistance & ne se trouve guère que dans les lieux bas ; on ne peut y fonder qu'avec de grandes précautions, pour la glaise elle se trouve indifféremment dans les lieux hauts & bas, quand elle est ferme & qu'elle forme un banc d'une épaisseur considérable, on peut y fonder hardiment, pourvu qu'on soit sûr qu'elle se trouve partout d'une égale consistance, [...] pour la terre de tourbe elle ne se trouve que dans les lieux aquatiques & marécageux ; c'est une espèce de terre grasse, noire & bitumineuse [...] au reste il [le terrain tourbeux] n'est point assés solide pour y asseoir des fondations, à moins qu'on ait recours à ce que l'art & l'industrie peuvent fournir en pareil cas."³

Le bon fond ainsi que le terrain ordinaire et de bonne consistance n'appellent pas de remarques particulières. L'empâtement des fondations est lié à la masse et à la forme du bâtiment à construire et n'intéresse pas le sous-sol. En revanche, le mauvais terrain nécessite de nombreuses précautions et des techniques adaptées :

¹. P. BULLET, *Traité d'architecture pratique*, Paris, 1691, cité par J. B. RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5, Paris, an XIII (1805), p. 41.

². B. F. de BELIDOR, *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, Paris, 1729, liv. 3, p. 49.

³. *Ibid.*, liv. 3, pp. 47-48.

Si "voulant approfondir pour en chercher un meilleur, on le rencontre encore plus mauvais ; en ce cas il vaut mieux ne s'enfoncer que le moins qu'on pourra, & établir sur toute la longueur des fondemens, un bon grillage assemblé avec des longrines & traversines de 9 à 10 pouces de grosseur, les vuides ou cellules qu'elles forment se remplissent d'une bonne Maçonnerie de Brique ou de moilon [...], il suffit d'élever la maçonnerie immédiatement sur le grillage, observant de faire le parement de bonne pierre de taille jusqu'au rez-de-Chaussée, & même plus haut si l'ouvrage en mérite la peine."¹

Ce radier peut encore être amélioré en terrain aquatique par l'usage de pilots de *remplage* ou de *compression* après la pose du grillage, ou mieux que l'on bat au refus² avant la mise en place de celui-ci : "Quand on enfoncera des pilots, il faut avoir égard d'employer toujours les plus longs & les plus forts sur les bords des fondemens, puisque si l'ouvrage a quelque danger à craindre par la suite, ce sera plutôt de ce côté-là qu'il manquera"³, précise Bélidor. La longueur des pilots est déterminée *in situ* par l'enfoncement, le diamètre étant à peu près d'un douzième de la longueur.

Quant à la profondeur des fondations en général, "il est assés difficile de la déterminer, dépendant en quelque sorte de la nature du terrain où l'on travaille"⁴, mais les architectes la rendent souvent excessive :

"on voit donner à de simples maisons, des fondemens de sept à huit pieds de profondeur, sans faire attention que leurs quatre faces formant un parallele pipede, doivent se soutenir par leur propre poids ; que si on en voit quelque fois manquer par le pied, il ne faut pas penser que cela vienne de ce que leur fondemens n'ont pas eu assés de profondeur ; mais parce qu'on ne les a bâtis que peu à peu, c'est-à-dire qu'il y aura eu des reprises d'ouvrages, où la vieille Maçonnerie ne se sera pas liée avec la nouvelle, de-là il arrive que si un mur est affermi parce qu'il aura été bâti le premier, l'autre ne l'est pas pour avoir été fait plus tard, & tous ces murs venant à être chargés ensemble, le fardeau étant inegellement porté, la partie la plus foible fléchit, tandis que l'autre résiste."⁵

Cormontaigne n'est pas plus précis quand il évoque les fondations des places fortes :

¹. *Ibid.*, liv. 3, p. 55.

². C'est-à-dire jusqu'à ce qu'ils ne s'enfoncent plus dans le sol sous le choc du mouton.

³. *Ibid.*, liv. 3, p. 56.

⁴. *Ibid.*, liv. 3, p. 63.

⁵. *Ibid.*, liv. 3, p. 64.

"on approfondira les fondations de 3 pieds au-dessous du fossé, et plus bas s'il est nécessaire, pour trouver le fond solide. Les fondations seront bien mises de niveau par devant, et en pente de 6 pouces par derrière, et assurées par un rang de madriers de bois de chêne de 4 et 12 pouces de gros, à joints recouverts d'un pied, chaque madrier posé sur le devant pour prévenir les affaissements que pourront causer les transpirations des eaux."¹

Comme Bélidor, il propose de répartir la charge sur un sol trop faible par une grille de charpente, voire de le *fortifier* par des pilots.

En effet, trois méthodes permettent de s'affranchir des sols compressibles : grillage, pilotage et damage. Celui-ci est utilisé à Toulon pour la construction de la grande forme de radoub (1774-1776). Le sol y est constitué de cinq à onze mètres d'une "vase spongieuse contenant des coquillages, des débris végétaux, et quelques parties de sables silicieux"², reposant sur du saffre, "gravier calcaire entremêlé d'argile"³. Groignard, responsable des travaux, adopte la méthode du caisson⁴. Cette caisse en charpente de trois cents pieds de long sur cent de large (cent mètres sur trente) est assemblée sur un radeau qui la conduit à pied d'œuvre. On coule l'un et l'autre en ayant soin de récupérer le radeau⁵. La forme en maçonnerie dont le poids est calculé de façon à compenser la poussée d'Archimède est construite dans le caisson. Mais une préparation du sol est nécessaire :

¹. L. de CORMONTAINGNE, *Architecture militaire, ou l'Art de fortifier. On y a joint un Traité de l'art de la guerre*, La Haye, 1741, 1ère partie, p. 81.

². BERNARD, *Mémoire sur le projet des ouvrages à exécuter pour la construction de deux bassins de radoub*, 1827, Archives du Port de Toulon, section VII, dossier 356, pièce 7, manuscrit reproduit in : H. BERTRAND, *Marine et technique au XIXe siècle : les bassins de radoub du fort militaire de Toulon, 1774-1914*, travail de fin d'études, Ecole Nationale Supérieure des Travaux Maritimes, 1987, vol. 2 : "Pièces justificatives".

³. *Ibid.*

⁴. Le mur de quai de la darse du port de Toulon, créée par Vauban, le môle supérieur du port de Nice (BELIDOR, *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie*, [1ère éd. 1737], Paris, 1810, vol. 2, p.211), les bases des ponts de Westminster et des Black Friars à Londres conçus par Labeylie, de Saumur et Rouen, et plus tard, des Arts, d'Austerlitz et d'Iéna à Paris (E. M. GAUTHEY, *Traité de la construction des ponts*, Paris, 1812, liv. III, chap. III, sect. V) sont fondés de cette manière, mais n'ont pas l'ampleur de la forme de radoub de Toulon.

⁵. COULOMB, GROIGNARD, *Description d'un radeau de 320 pieds de longueur, 112 pieds de largeur et 6 pieds $\frac{1}{2}$ de hauteur*, 1er juil. 1774, Archives du Port de Toulon, fond Groignard, manuscrit reproduit in : BERTRAND, *op. cit.*, vol. 2.

Le "fond fut applani & comprimé par une masse ou demoiselle dont la base contenoit 20 pieds quarrés, battue au refus d'un mouton de 30 quintaux [1,5 tonne], tombant de 18 pieds de hauteur, et dont la pression ou le poids devenoit par conséquent 80 fois plus fort que la partie plus pesante de la forme sur la même étendue de terrain comprise sous la base de la demoiselle"¹,

rapportent les commissaires chargés d'évaluer les résultats. Une fois la caisse mise en place, on la pré-charge pendant six mois d'un million de quintaux [50 000 tonnes], "ce qui excédoit, le poids de la maçonnerie projetée, & du vaisseau à supporter, d'environ 100 mille quintaux. [...] Après pareille épreuve, on ne doit plus douter de la solidité du fond, ni de la durée de ce bassin"², poursuivent les commissaires qui concluent on ne peut plus favorablement : "il ne peut [...] y avoir qu'une révolution extraordinaire & imprévue dans cette partie du globe, qui puisse démentir nos opinions et détruire nos assertions sur cette production étonnante de mécanisme."³ Les faits démentiront leurs dires et pendant vingt-cinq ans, près de deux cents bagnards vont pomper journallement plus de 100 m³ d'eau pour la maintenir à sec la forme, affectée par les tassements différentiels du sol et le manque d'adhésion entre la caisse et le fond⁴.

Si l'approximation domine dans les ports — qui constituent pourtant un enjeu considérable —, on comprend que les fondations des bâtiments civils ne focalisent pas l'attention. Les procédés relèvent de pratiques plus que de méthodes scientifiques, comme dans le cas de la consolidation des rives par le fascinage, cet armement végétal de la terre.

Les murs

Il en va tout autrement d'un autre champ de la mécanique des sols, celui des grandes déformations comme nous l'appelons aujourd'hui, étude de la poussée des terres. L'exposé du problème est relativement simple : le mur de la terrasse ou de la fortification doit être établi de façon à soutenir les terres adjacentes, sans se renverser (généralement en tournant autour de l'arête extérieure de sa fondation⁵) ni glisser sous

¹. *Rapport des commissaires nommés par le conseil de marine, pour examiner & rendre compte de l'état actuel du bassin, construit par M. Groignard, pour les vaisseaux du Roy, au Port de Toulon*, 16 oct. 1778, Archives du Port de Toulon, fonds Groignard, manuscrit reproduit in : BERTRAND, *op. cit.*, vol. 2.

². *Ibid.*

³. *Ibid.*

⁴. BERNARD, *op. cit.*

⁵. MAYNIEL, *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*, Paris, 1808, p. X.

leur poids. Or, on constate des désordres dans les murs de plusieurs places fortes (Valenciennes, Brest, Lille, Douai) et très tôt on critique les dimensionnements édictés par Vauban en 1667¹. Bullet (1691), Buchotte (1716), Couplet (1727) et Bélidor (1729) estiment que l'épaisseur du mur est insuffisante pour de grandes hauteurs (10 m) et excessive pour de faibles hauteurs². Les fissures tout comme les surdimensionnements inquiètent par les coûts mis en jeu et les risques encourus.

Mais la simplicité du problème n'induit pas celle de sa solution et d'énormes efforts vont être déployés afin de la trouver³. Si l'on admet que le mur résiste par son poids propre, il faut déterminer le point d'application et l'intensité de la poussée des terres, donc définir les caractéristiques de l'éboulement ou écoulement, c'est-à-dire de la partie du talus qui se sépare de la masse des terres de remblai et pousse le mur. Le calcul se réduit ensuite, avec le secours de la géométrie, à celui de moments de forces, donc de bras de levier. La hauteur du mur étant donnée, on en déduit son épaisseur.

Que l'on considère l'éboulement "comme un corps rond dont toutes les parties sont rassemblées au centre de gravité comme si elles fussent adhérentes en vertu d'une force attractive résidente dans ce centre et agissant sur deux plans par sa pesanteur"⁴, l'inclinaison de l'éboulement et l'obstacle, ce qui est le cas de certains ingénieurs (qui négligent par là le frottement), comme une superposition de feuillets parallèles, selon Bélidor⁵ (figure 28) et l'école italienne qui applique le calcul différentiel à la méthode de celui-ci⁶ (figure 29), ou comme un solide — un *coin* — qui glissent, la question se pose de l'angle de l'éboulement, qui définit la direction des forces en jeu et la masse des terres

¹. Le document original est, semble-t-il, perdu, mais on trouve une table des dimensionnements prescrits par Vauban dans DU ROY, *Manière de fortifier selon la méthode du M^r de Vauban*, cité par J. KERISEL, "Histoire de la mécanique des sols en France jusqu'au 20^e siècle", *A.P.C.*, juil.-août 1958, p. 507.

². BULLET, *op. cit.*, p. 212 ; BUCHOTTE, mémoire manuscrit cité par MAYNIEL, *op. cit.*, p. 64. M. COUPLET, "Deuxième mémoire sur la Poussée des Terres contre leurs Revêtemens, & la force des Revêtemens qu'on leur doit opposer", *H.A.R.S.*, 1726, pp. 106-118, 1727, pp. 139-152, 1728, pp. 113-126 ; BELIDOR, *La science des ingénieurs (...)*, *op. cit.*, liv. 1, p. 15.

³. Pour une analyse des différentes solutions proposées du XVIII^e siècle à nos jours, et en particulier de la méthode de Coulomb, voir : J. HEYMAN, *Coulomb's memoir on statics : an essay in the history of civil engineering*, Cambridge : Cambridge University Press, 1972. Sur les théories concurrentes de celle de Coulomb, voir : A. GUILLERME, "La cervelle de la terre : la mécanique des sols et les fondations d'ouvrages de 1750 à 1830", *History and technology* 7(3-4), 1991, pp. 211-254.

⁴. MAYNIEL, *op. cit.*, p. VIII.

⁵. BELIDOR, *La science des ingénieurs (...)*, *op. cit.*, liv. 1, p. 22

⁶. Voir notamment : A. V. PAPACINO d'ANTONI, *Dell'architettura militare*, vol. 5, Turin, 1781. Le manuscrit est, selon Heyman (*op. cit.*, p. 129), de dix années antérieur.

à prendre en compte dans la poussée. Comme l'on constate que les terres disposées en tas ont une pente naturelle, c'est généralement à celle-ci que l'on assimile cet angle.

Or théorie et pratique s'opposent fermement. Ainsi, Bullet estime que le sable est constitué de petites sphères dont l'arrangement optimal à l'équilibre conduit à un angle de 60 degrés par rapport à l'horizontale ; mais, il constate que dans la pratique le talus naturel est très variable et il propose d'adopter la valeur de 45 degrés pour les calculs¹. S'il critique d'un point de vue théorique le modèle de Bullet, lequel ne tient compte que de deux dimensions alors qu'il traite de sphères, Couplet n'arrive pas à trancher la question². Bélidor, même s'il admet que l'angle peut varier en fonction des sols³, choisit empiriquement un angle de 45 degrés et obtient des résultats très proches de ceux de Couplet, malgré une méthode différente⁴. Duhamel de Querlonde, sous-brigadier d'ingénieurs à l'armée de Bavière, plus avisé, distingue les terres sablonneuses (tangente de 0,5), les terres végétales (tangente de 1) et les terres fortes (tangente de 1,5)⁵. Dans tous les cas, on considère que la poussée est proportionnelle au carré de la hauteur du mur, le moment à son cube. D'autres facteurs entrent en ligne de compte, tels que la *ténacité* des terres⁶ — "on nomme force d'adhésion, de cohésion ou de ténacité, la force qui unit les éléments des corps et s'oppose à leur séparation actuelle [...] on distingue l'adhésion et la ténacité en naturelle et artificielle"⁷ — et le frottement du coin sur le sol stable et le mur.

¹. BULLET, *op. cit.*, p. 125.

². COUPLET, *op. cit.*, 1726, p. 115.

³. BELIDOR, *La science des ingénieurs (...)*, *op. cit.*, liv. 1, p. 42.

⁴. HEYMAN, *op. cit.*, p. 128.

⁵. QUERLONDE, *Mémoire sur l'épaisseur des murs de soutènement*, 1742, Bibliothèque de l'E.N.P.C., ms 811.

⁶. Particulièrement importante dans le contexte guerrier puisqu'elle détermine leur résistance à l'enfoncement des boulets : s'appuyant sur les recherches balistiques du directeur de place Vallière (*Mémoires sur les charges et les portées des bouches à feu*, Paris, 1741), Cormontaigne remarque qu'un boulet de 16 à 24 livres (8 à 12 kg) perce jusqu'à 10 à 12 pieds (3 m) dans les terres douces, 3 à 4 pieds dans la maçonnerie "suivant la bonté de la construction". Les mineurs doivent employer 11 à 12 livres de poudre pour enlever une toise cube (6 m³) de terre de sable, "15 à 16 pour une toise de terre argileuse plus condensée ; 9 à 10 pour une toise de terre remuée ; 20 livres pour une toise cube de maçonnerie ordinaire et au moins 40 livres si l'on travaille sous une fondation". CORMONTAINGNE, *op. cit.*, 1ère partie, p. 11 et 3e partie, p. 80.

⁷. PAPACINO d'ANTONI, *Institutions physico-mécaniques, à l'usage des écoles royales d'artillerie et de génie de Turin*, trad. de l'italien [1ère éd. italienne : Turin, 1773-1774, 2 vol.], Strasbourg, 1777, vol. 1, pp. 58-59.

En fait, la solution géométrique du problème, qu'elle soit théorique ou empirique, s'avère plus aisée que sa solution physique. L'*Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides* de d'Alembert constitue, dès sa publication en 1752, le référent de la mécanique. D'Alembert y définit trois espèces de résistance du fluide :

- la première constante, venant de la cohésion des particules, indépendante de la forme et de la vitesse du corps solide qui lui résiste ;
- la seconde, proportionnelle à la vitesse, "vient du frottement que les particules du fluide éprouvent en glissant sur la surface du corps en vertu de leur vitesse respective"¹ ;
- la troisième, venant de l'inertie, est proportionnelle au carré de la vitesse.

Il ouvre par là la voie des recherches théoriques sur le comportement des sols de l'abbé Bossut — qui travaille avec Condorcet et d'Alembert —, professeur de mathématique à l'Ecole du Génie de Mézières dans les années 1760, et des officiers du corps (Sallouy, Faydit Tersac de Montlong, Coulomb, Fougereux de Blaveau, Trincano proposent des mémoires sur la poussée des terres)².

Le mémoire de Coulomb³ traduit la force de ces recherches théoriques (figure 31). Mais s'il nous en reste aujourd'hui le *coin de Coulomb*, il ne résout pas la question de la poussée des terres, ni celles de la mécanique des sols — ses recherches sont d'ailleurs peu exploitées par les constructeurs⁴ — puisque la théorie admise veut qu'en observant le comportement des fluides on comprenne celui des solides. La solidité est d'ailleurs une notion très vague ; pour Formey, il s'agit de l'"idée qui nous vient par l'attouchement, & qui est causée par la résistance que nous éprouvons ou que nous remarquons dans un

¹. D'ALEMBERT, *Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides*, Paris, 1752, p. 113. D'Alembert reçoit en 1750 le prix proposé par l'Académie Royale de Prusse en 1748 et portant sur la *théorie de la résistance des fluides*.

². Ces mémoires dont on ne trouve plus trace ont été analysés par MAYNIEL, *op. cit.*, p. 75 sq.

³. C. A. COULOMB, "Essai sur une application des règles de *Maximis & Minimis* à quelques Problèmes de Statique, relatifs à l'Architecture", *Mémoires de mathématique & de physique, présentés à l'A.R.S. par divers savans, & lus dans ses assemblées*, vol. 7, 1773, pp. 343-382.

⁴. Son "mémoire paraît avoir été peu consulté", souligne Prony en 1802. PRONY, *Recherches sur la poussée des terres, et sur la forme et les dimensions à donner aux murs de revêtement ; suivies d'une méthode pratique, à la portée des ouvriers qui ont quelque habitude de se servir de la règle et du compas, pour résoudre très-facilement les principaux problèmes relatifs à la forme et aux dimensions des murs de revêtement imprimé pour l'usage de l'Ecole polytechnique et de celle des Ponts et Chaussées*, Paris, an X (1802), p. 38.

corps jusqu'à ce qu'il ait quitté le lieu qu'il occupe, lorsqu'un autre corps y entre actuellement."¹ Cette solidité-là est donc le propre de toute chose : "quand on agit dans un air calme, il est peu de personnes qui pensent qu'elles ont continuellement à vaincre la résistance d'un corps dont la *solidité* s'oppose à leurs mouvemens"², ajoute Formey .

En outre, pour d'Alembert, comme pour beaucoup de mécaniciens, "le passage de la solidité à la fluidité se fait pour ainsi dire par une infinité de nuances graduées, imperceptiblement ; d'où il résulte par conséquent une infinité ou, pour parler plus exactement, une indéfinité de sortes de corps, tant solides que fluides"³. Il y a une solution de continuité d'un état à l'autre :

"les contacts entre les éléments des corps forment la solidité alors que les contacts par les points seulement [...] forment la fluidité ; entre, les agrégés primitifs de corpuscules simples ont presque tous besoin pour former des solides, de quelque moyen intermédiaire, de quelque espèce de glue, de colle, qui les retient dans l'état de cohésion, en étendant leur surface contiguë, en multipliant par conséquent les points de contact. L'expérience nous engage à penser que ce qui constitue cette colle est de nature aqueuse ou huileuse"⁴.

Le sol est donc un plastique saturé dont la stabilité dépend de la teneur en eau. Mais jamais n'est prise en considération la variabilité temporelle et géographique des terres. En effet, l'eau est, toutes choses égales par ailleurs, incompressible ; l'étude des tassements, cette deuxième composante de la mécanique des sols, ne peut donc faire l'objet de recherches théoriques. En outre, Si Coulomb évoque la question :

"Souvent les eaux filtrant à travers les terres, se rassemblent entre les terres & la maçonnerie & forment des nappes d'eau qui substituent la pression d'un fluide sans frottement à la pression des terres [...]

"L'humidité change encore non-seulement le poids des terres, mais encore leur frottement. Je puis assurer avoir vu des terres savonneuses, qui se soutenant d'elles-mêmes, lorsqu'elles étaient sèches, sur une inclinaison de 45 degrés, avoient de la peine, quand elles étoient mouillées, à se soutenir sur une inclinaison de 60 à 70 degrés. Enfin, il faut pour que l'on puisse compter sur les dimensions fixées par les formules, que l'eau ne pénètre point les terres dont on cherche la pression, ou qu'en les pénétrant, elles en augmentent peu le volume. Cette augmentation de volume [...] dont nous avons un exemple dans les lézardes que la sécheresse occasionne à la surface

1. *Encyclopédie* (...), t. XV, Neuchâtel, 1765, art. "Solidité (physique)".

2. *Ibid.*

3. *Encyclopédie* (...), t. VI, *op. cit.*, art. "Fibre".

4. *Ibid.*

de nos campagnes, produit contre les revêtemens une pression que l'expérience seule peut déterminer."¹

Il l'évacue rapidement :

"Malgré toutes ces remarques, qui paroissent conduire à conclure qu'il faut des dimensions particulières aux revêtemens, suivant la nature des remblais dont ils éprouvent la pression ; que dans les pays secs & chauds il y a moins d'inconvénient à diminuer les murs de terrasse, que dans les pays humides & froids ; je crois cependant que dans toutes les espèces de terres, l'on pourra sans danger fixer les revêtemens à $\frac{1}{6}$ de talus, sur le septième de la hauteur, pour l'épaisseur au cordon."²

D'ailleurs, toute l'ambiguïté de la théorie coulombienne est là : tandis que la division infinitésimale de la matière occupe tout le champ opératoire de la physico-mathématique, elle traite le prisme des terres comme une masse indivisible, un corps pré-newtonien.

Les ingénieurs sont pourtant bien conscients du rôle de l'eau et du temps : Hubert Gautier estime que "la terre dont on fait les remparts [...] doit être argileuse, propre à recevoir les racines, et résister aux pluies et à la sécheresse"³, Cormontaigne précise que les arbres ne doivent être plantés sur les remparts qu'"après que toutes les terres auront à-peu-près pris leurs affaissements, environ la troisième année"⁴. Ils le sont d'autant plus qu'ils ont la charge des eaux — fossés et navigation. Ils sont là confrontés à l'interaction de ces deux éléments : "L'art de régler le cours des fleuves et de les contenir dans leurs lits, suppose la connaissance parfaite de la nature des terres sur lesquelles ils doivent couler, des accroissement qu'ils peuvent recevoir"⁵, affirme Bossut. Et s'il reconnaît dès 1764 avec Viallet que "les causes qui tendent à détruire une chaussée [d'étang] sont, 1° le frottement de l'eau contre son parement ; 2° leur filtration ; 3° leur pression"⁶, les deux premières ne seront contrebalancées que par des moyens techniques (étanchéité de la

1. COULOMB, *op. cit.*, pp. 365-366.

2. *Ibid.*, p. 366.

3. H. GAUTIER, *Traité des fortifications, contenant la démonstration et l'examen de tout ce qui regarde l'art de fortifier les places tant régulières qu'irrégulières*, Lyon, 1685, p. 157.

4. CORMONTAINGNE, *op. cit.*, p. 118.

5. BOSSUT, *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique*, Paris, vol. 2, 1787, p. 454.

6. BOSSUT, VIALLET, *Recherches sur la construction la plus avantageuse des digues, ouvrage pour servir de suite à la seconde partie de l'architecture hydraulique de M. Bélidor*, Paris, 1764, p. 6.

digue par exemple), alors que la dernière fait l'objet d'un calcul précis du "moment de la poussée horizontale de l'eau qui tend à renverser la digue, [qui] doit être contrebalancée par la somme des moments de la poussée verticale de l'eau et du poids même de la digue"¹.

¹. *Ibid.*, p. 12.

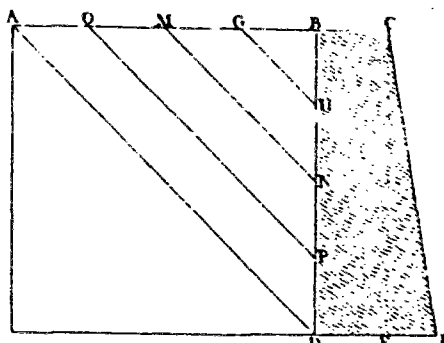


Figure 28. Méthode de Bélidor.

On suppose que la poussée du triangle ABD agit selon des tranches parallèles au talus naturel incliné arbitrairement à 45° . On divise la hauteur BD en quatre parties égales donnant un triangle BHG et des trapèzes HNMG, NPOM, PDAO dont les aires respectives sont proportionnelles à 1, 3, 5 et 7. Si b est la poussée du triangle BHG, celle des trapèzes sera exprimée par $3b$, $5b$, $7b$. Ces efforts tendent à renverser le mur BF autour de F. Considérant la poussée du triangle comme agissant au point B et celles des trapèzes respectivement en H, N et P, le moment de ces poids par rapport à D devient respectivement $4b$, $9b$, $10b$ et $7b$ soit donc $30b$ la somme des moments. L'expression de la force du triangle total ABD en B est $7,5b$ ou $f b$. En désignant par h la hauteur du mur, $b = \frac{h^2}{2}$. Bélidor suppose qu'un triangle qui glisse sur une hypoténuse n'exerce que la moitié de sa poussée contre celle-ci, alors $b = \frac{h^2}{4}$ et son moment est exprimé par $\frac{f h^2}{4}$. Pour opposer la résistance nécessaire à cette poussée, on détermine l'épaisseur à

donner au revêtement de manière à en équilibrer le poids. $DE = y$ et $EF = d$, l'on tire $y = -d \pm \sqrt{\frac{f h^2}{2} + \frac{d^2}{3}}$

D'après : BELIDOR, *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux des fortification et d'architecture civile*, Paris, 1729, livre 1er, pp. 11-13 et MAYNIEL, *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*, Paris, 1808, pp. 59-60.

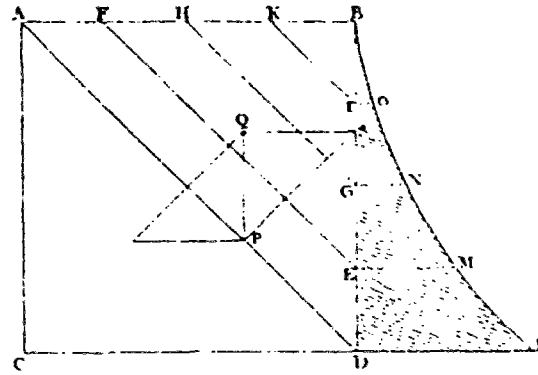


Figure 29. Méthode italienne de la poussée des terres développée par Papacino d'Antoni.

AD marque la ligne d'éboulement ; "l'effet du prisme ABD représenté par ce profil est celui de FBE comme BD² est à BE²". La poussée prend donc figure d'une parabole de sommet B dont un point quelconque à pour abscisse x et ordonnée y. La surface d'un élément parabolique est x dy, le bras de levier

de cet espace est $\frac{x}{2}$ et son moment $\frac{x^2 dy}{2}$. Soit pour l'ensemble $\int \frac{x^2 dy}{2}$. L'équation de la parabole

s'exprimant comme $x = \frac{y^2}{p}$, la distance du centre de gravité au point de rotation s'en déduit : $RL = \frac{7x}{10}$.

Si π désigne la densité de la maçonnerie et h = BD sa hauteur, le poids est $\frac{\pi h x}{3}$ et le moment de résistance du mur $\frac{7 \pi h x^3}{30}$. Appelant t l'unité de tenacité du mur sur son support, la tenacité entière

est : t DL = t x et son moment $\frac{t x^2}{2}$. La résistance à opposer aux terres est donc $\frac{7 \pi h x^3}{30} + \frac{t x^2}{2}$. Le prisme des terres est assimilé à un corps rond réuni autour de son centre de gravité Q. Avec une densité de la terre ϕ , le poids du triangle ABD est $\frac{b h \phi}{2}$ (avec AB = b) et en "ayant égard à la considération sur le frottement, QP = $\frac{b h \phi}{3}$ ". Le bras de levier SD = $\frac{2 h}{3}$ donne le moment de la poussée $\frac{b h^2 \phi \cotg a}{12}$

(avec BDA = BAD = a = 45°) qu'il suffit d'égaliser à la résistance des terres pour trouver x. Cette méthode ne tient pas compte de la cohésion.

On doit y voir une application du calcul différentiel à la méthode Bélidor. Ici, "les hypothèses se réduisent en général à considérer la masse qui presse le mur comme composée de couches ou lames superposées, toutes parallèles au plan du plus grand talus que peuvent prendre les terres ; mais cette manière de décomposer la masse est en contradiction avec le résultat auquel on veut parvenir, qui est l'évaluation de la poussée ; car l'une quelconque de ces couches ou lames, posée sur un plan incliné parallèle à celui du talus et frottant sur ce plan n'aurait aucune tendance à descendre où à pousser, puisque l'inclinaison du plan du talus est précisément celle sur laquelle les molécules de terre se tiennent en équilibre par leur frottement, et elles ne peuvent se mouvoir que sur un plan plus rapproché de la verticale que celui du talus. On est donc réduit, pour trouver une poussée, ou à supposer que ces couches ou lames n'exercent aucun frottement les uns sur les autres, ou à leur assigner un frottement déduit de quelques expériences sur les corps durs qui glissent le long de surfaces planes inclinées. La première supposition conduit au même résultat que le cas d'une masse continue ; la seconde présente une contradiction nouvelle puisque, dès qu'on assigne un talus naturel aux terres, on ne peut plus faire d'autre hypothèse sur le frottement que celle qui résulte de ce talus." PRONY, *Recherches sur la poussée des terres (...)*, Paris, an X (1802), p. 39.

D'après : MAYNIEL, *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*, Paris, 1808, pp. 50-53.

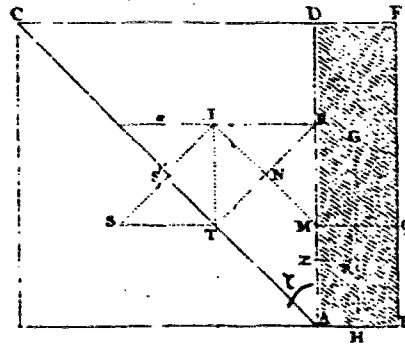


Figure 30. Méthode des constructeurs.

Le poids du prisme est décomposé en deux forces, IS perpendiculaire au plan incliné et IR horizontale ; DAC est le prisme qui tend à s'ébouler avec pour angle du talus naturel des terres $DAC = \tau$. $RT = \frac{TI}{\sin \tau}$ et $RI = TI \cotg \tau$; $AD = h$; δ = densité des terres ; TI représente le poids du prisme ; $DC = h \tg \tau$. La surface du triangle est $\frac{h^2 \tg \tau}{2}$ et sa pesanteur $TI = \frac{\delta h^2 \tg \tau}{2}$. On suppose l'application de la poussée au tiers de la hauteur soit le moment (produit de la force horizontale RI par le bras de levier) égal à $\frac{\delta h^3}{6}$.

Considérant que le mur résiste en vertu de sa pesanteur, que m désigne le rapport de la base du mur à sa hauteur, x l'épaisseur du mur au cordon et π le poids spécifique du mur, on déduit l'équation d'équilibre entre le moment de la poussée et le moment de la résistance du mur. L'épaisseur au cordon s'exprime par $h \left(-m \pm \sqrt{\frac{1}{3} \left(\frac{\delta}{\pi} + m^2 \right)} \right)$. Une variante consiste à décomposer la pesanteur du triangle DAC représenté par IT en deux forces IS' perpendiculaire à AC et IN parallèle. La direction de la force IN étant oblique au parement intérieur du mur, on la décompose au point de contact M en deux autres : l'une verticale MZ qui n'a aucune action contre le mur, l'autre ZR, seule agissant sur le mur et tendant à le reculer ou à le faire tourner sur l'angle extérieur E. Ces nouvelles forces sont représentées par un triangle rectangle isocèle dont il est aisé de déterminer le moment $\left(\delta h^3 \frac{1-n}{12} \right)$ qui équilibre celui du mur considéré non seulement en vertu de sa pesanteur mais encore en vertu de son frottement sur la base AE. Désignant par n le rapport du frottement à la pression — le même que celui des terres — on trouve l'épaisseur égale à $\delta h \frac{1-n}{4n}$.

Cette méthode appliquée essentiellement par les officiers du Génie même après les travaux de Coulomb, ne tient pas compte de la cohésion des terres mais nécessite la connaissance a priori de l'angle naturel des terres (dit angle d'éboulement). Prony en fait une critique virulente et fondée (*op. cit.*, p. 41) : "la plus légère attention suffit pour faire apercevoir que le corps dont on a ainsi décomposé le poids en trois forces, ne serait nullement en équilibre, si on voulait le retenir sur le plan du talus avec la force horizontale à laquelle on veut opposer la résistance du mur ; car la force verticale qu'on néglige, décomposée perpendiculairement au talus, et horizontalement, aurait, dans cette dernière direction, une action qui occasionnerait la rupture d'équilibre [...]. Ces inexactitudes n'empêchent cependant pas que, eu égard au frottement, à la cohésion, etc., les dimensions déduites de cette manière de résoudre le problème, ne puisse être admises dans une infinité de cas. Le moyen direct et rigoureux de trouver la valeur de la poussée horizontale est de décomposer immédiatement le poids du corps en deux forces glissant l'une perpendiculairement au plan du talus, et l'autre horizontalement", comme le font certains constructeurs ainsi qu'il est indiqué au début.

D'après : MAYNIEL, *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*, Paris, 1808, pp. 57-58.

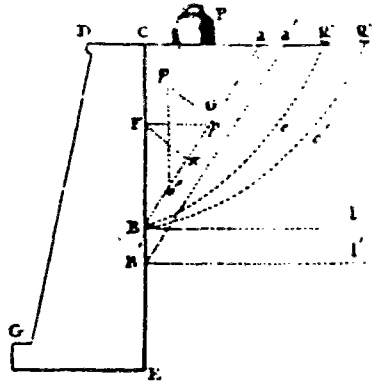


Figure 31. Méthode de Coulomb.

Le triangle CBA rectangle, solide et pesant, est soutenu sur la ligne Ba par une force horizontale appliquée en F et sollicité par sa pesanteur ϕ et retenu sur la ligne Ba par sa cohésion δ et le frottement $\frac{1}{n}$. On pose CB = a et CA = x. L'adhérence de la ligne aB est $\delta (a^2 + x^2)$. ϕ la pesanteur du triangle CBA est $\frac{g a x}{2}$ (g exprimant la densité du triangle). On décompose A et ϕ suivant deux directions perpendiculaires dont l'une parallèle à Ba. Les triangles $\phi G \delta$ et $F \pi p$ qui expriment ces forces décomposées sont semblables au triangles CaB, d'où l'on trouve A dans le cas d'équilibre, $A = \frac{\left(\frac{g a x}{2}\right) \left(\frac{a - x}{n}\right) - \delta (a^2 + x^2)}{x + \frac{a}{n}}$. Mais

il faut pour avoir une force A suffisante pour soutenir toute la masse, chercher parmi toutes les surfaces CBeg, celle dont la pression sur la ligne CB est un maximum. De même pour déterminer la plus grande force agissant en F "sans troubler l'état de repos", il faut chercher une autre courbe Be'g' telle que la force A' suffisante "pour faire couler la surface CBe'g' suivant Be'g' soit un minimum". On suppose que la ligne de plus grande pression est une ligne droite pour A maximum, c'est-à-dire $\frac{dA}{dx} = 0$. Soit

$x = -\frac{a}{n} + a \sqrt{1 + \frac{1}{n^2}}$ et $A = m a^2 - \delta l a$, m et l étant des constantes dépendant uniquement du frottement. On cherche alors le moment élémentaire de A autour de E en faisant a variable dans A. Soit $\frac{dA}{da} = (2 m a - \delta l)$ et le moment $[(b - a) (2 m a - \delta l) da]$ qui, intégré, donne $\frac{(m - b^3)}{3} - \frac{\delta l b^2}{2}$. On égale cette quantité au moment de la pesanteur du revêtement pour en déterminer les dimensions. Si la masse de terre caB est chargée d'un poids P on donne à ϕ la valeur $P + \frac{a x}{2}$.

D'après : C. A. COULOMB, "Essai sur une application des règles de *Maximis & Minimis* à quelques Problèmes de Statique, relatifs à l'Architecture", *Mémoires de mathématique & de physique, présentés à l'A.R.S. par divers savans, & lus dans ses assemblées*, vol. 7, 1773, pp. 343-382.

c) Le sol des ingénieurs

Dès l'origine, les ingénieurs entrent donc dans la ville. Cette première époque pourrait être considérée comme une phase de reconnaissance, une phase de test. D'abord à l'appui des travaux des géographes, dont ils jouent parfois le rôle, ils mettent au point les outils de description du territoire en trois dimensions, afin d'y planifier leurs interventions. Parallèlement, ils essayent de nouvelles méthodes de calcul des ouvrages en faisant varier les hypothèses, grâce aux apports de l'hydraulique.

Cependant, s'ils raffinent le calcul, force est de constater qu'ils ne maîtrisent pas totalement la terre dont ils ont la charge, ce pour des raisons à la fois factuelles et théoriques. En effet, ils se cantonnent bien souvent aux frontières de la ville, plus préoccupés de la défense que de l'édilité civile, qu'elle soit publique ou privée : le mur de soutènement les occupe tout entiers.

La première mécanique des sols urbains est donc fondée sur les concepts de dissymétrie et de rupture : elle a peu de débouché dans l'étude des fondations et des tassements *intra muros*. D'autant plus que si certains ingénieurs cherchent à définir les propriétés de la terre, tous se focalisent sur la résolution, géométrique ou analytique, d'équations.

I.2.3. ABIOTISME

Nous avons réuni dans ce chapitre deux thèmes qui partent du présupposé de l'inertie de la terre. Mais si le premier — "de l'air, de l'air" — traduit une opposition aux vues développées dans le chapitre précédent, le second — "la figure de la ville" — le complète, comme le souligne Bruno Fortier lorsqu'il affirme que "les topographies médicales de Hallé et celles géographiques de Buache et Deparcieux ne sont pas séparables"¹. Nous avons d'ailleurs vu que Thouret n'était pas favorable à l'utilisation des puisards à Montfaucon, bien que "de tous les moyens de perdre les eaux infectes, ce seroit le plus commode, le plus prompt"². Le médecin s'essaye à cette occasion avec une grande lucidité à une analyse du comportement de l'eau dans le sous-sol qui montre la diffusion des idées de P. Buache : tout irait pour le mieux si les eaux se contentaient d'"imbiber les différentes couches, en se répandant dans leurs cavités, & sans les altérer"³, y demeurant captives. Mais l'inclinaison des couches peut imprimer un mouvement aux eaux ; à Montfaucon en particulier,

"Le sol en est fourni de carrières à plâtre ou autres, placées par couches, & séparées par des lits d'une espèce de terre argileuse ou marneuse.

"La majeure partie des pentes, & sur-tout les principales, sont en même temps tournées vers Paris. Combien n'y auroit-il donc pas à craindre en ouvrant des puisards, comme on le pratiquoit, qui absorboient des quantités immenses de liquides, de former sous terre des courants assez continus pour infecter les puits du voisinage & des faubourgs, & dégrader les couches de terre ou les fondations des habitations placées à peu de distance ? Quand on ne feroit d'ailleurs que pénétrer le sol des environs de la matière fétide des vannes, n'auroit-on pas à craindre d'infecter des emplacements où les édifices, que l'on pourroit y construire par la suite, seroient de la plus grande insalubrité, sur-tout en considérant que la voirie de Montfaucon [...] pourroit infecter une étendue de terrain très-considérable, & dont il seroit impossible de déterminer les limites."⁴

Cependant, si Fortier ajoute : "mais alors qu'en 1770 médecins et scientifiques vont apprécier à peu près également les données du problème urbain, seuls les derniers — et de longue date — en maîtriseront les solutions pratiques"⁵, ce n'est

¹. FORTIER, *op. cit.*, p. 120.

². THOURET, *Rapport sur la voirie de Montfaucon, op. cit.*, p. 11.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. *Ibid.*, p. 12.

⁵. FORTIER, *loc. cit.*

vraisemblablement pas parce que les scientifiques maîtriseront la nature complexe du sol urbain, mais parce qu'ils s'en désintéresseront peu à peu.

Pourquoi réunir dans un chapitre deux thèmes qui paraissent finalement indépendants ? C'est que leurs conséquences sur l'aménagement de l'espace sont, elles, identiques : point de cycles mais une ville abiotique qui se dessine parallèlement chez certains architectes. Leurs objectifs : propreté et circulation, donc pavage systématique des rues, nettoyage par l'eau, ventilation ; bref, dynamique des fluides : l'abbé de Lubersac propose en 1775 de construire à Paris, sous la statue d'Henri IV surélevée, un réservoir alimenté par l'eau de la Seine. Ces eaux "pourroient se décharger par des tuyaux d'un gros calibre, tant au quartier des *halles*, qu'aux marchés du faubourg *Saint-Germain* & rues adjacentes ; afin, qu'à des heures fixes, ces eaux, coulant en gros volume & avec rapidité, entraînaient toutes les ordures dans les égouts"¹, d'autres réservoirs fourniraient les 40 000 muids (11 000 m³) d'eau journaliers dont Paris a besoin. "C'est par l'eau seule qu'on peut remplir le double objet"² de l'adduction et du nettoyage des rues, ajoute-t-il. Dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle, les ouvrages consacrés à la propreté des rues fleurissent ; ils sont le fait de médecins, de scientifiques, mais aussi d'ingénieurs et d'architectes qui — ce n'est cependant pas le cas de tous — commencent à prendre la ville en considération. Certains proposent des vues très générales, d'autres abordent des problèmes particuliers : le pavage, la distribution de l'eau, etc.

Mais ce sont surtout les premiers plans, ou projets de plan d'aménagement de la ville guidés en partie par la recherche de la salubrité. "Pour faire une ville saine"³, écrit l'abbé Jacquin, tout doit aller dans le sens de la circulation de l'air : "prendre garde d'en trop élever les remparts & les murailles pour renouveler celui [l'air] des parties les plus basses, & balayer les vapeurs & exhalaisons qui s'élèvent continuellement des rues, rivières & cheminées"⁴ ; ainsi sont dictés l'orientation des rues "larges & droites : les principales [...] percées du sud-est au nord-ouest, & du nord-est au sud-ouest"⁵, le rejet

¹. C. F. de LUBERSAC, *Discours sur les monumens publics de tous les âges et de tous les peuples connus* (...), Paris, 1775, p. lxij. Sur les projets de distribution d'eau : FORTIER, "La maîtrise de l'eau", *XVIII^e siècle* 9, 1977, pp. 193-201.

². LUBERSAC, *op. cit.*, p. lxv.

³. JACQUIN, *op. cit.*, p. 84.

⁴. *Ibid.*, p. 85.

⁵. *Ibid. loc. cit.*

des activités nuisibles hors la ville, la création de grandes places, de fontaines, le lavage des rues.

L'abbé Laugier, en 1765, donne ses *Observations sur l'architecture* ; il consacre un peu plus de vingt pages à la distribution des villes. Mais il s'agit plus d'une répartition des activités sur l'échiquier urbain que d'un plan d'aménagement global : par exemple, en ce qui concerne les habitations privées, il propose avec beaucoup de sollicitude que les immeubles en façade accueillent les plus pauvres des citoyens, les plus fortunés pouvant construire leur maison en cœur d'îlot, à l'abri du bruit¹. La question de la circulation de l'air et surtout des hommes (mais celles-ci ne procèdent-elles pas des mêmes moyens ?²) n'est cependant pas absente des *Observations* :

"Les places sont nécessaires dans les Villes, ne fut-ce que pour les aérer, pour leur donner du jour, pour dissiper plus aisément l'humidité des rues & leurs mauvaises odeurs. [...] La position naturelle des places est dans les carrefours où plusieurs rues se croisent. Leur grandeur prévient les embarras que la coïncidence de ces rues occasionne nécessairement ; & ces rues multipliées présentent des percés avantageux, qui rendent les abords & les débouchés de la place plus agréables & plus commodes."³

Les bâtiments demeurent sa principale préoccupation ; mais les deux dernières pages de l'ouvrage sont néanmoins consacrées à "leur arrangement & leur assemblage dans le plan d'une Ville"⁴, modèle de la *ville transparente*, selon Pierre Pinon⁵. Pour Antoine Picon, "on a beaucoup glosé sur cette référence au tracé des jardins"⁶ de Laugier : "Quiconque sçait bien dessiner un parc, tracera sans peine le plan en conformité duquel une Ville doit être bâtie relativement à son étendue & à sa situation."⁷ Quelle qu'en soit la raison profonde, il nous semble important que, pour Laugier, s'il faut de la

¹. M. A. LAUGIER, *Observations sur l'architecture*, La Haye, 1765, p. 175.

². Cf. *supra*, § 1.2.1, b : "L'air humide et chaud rend mou" ; CORBIN, *op. cit.*, pp. 113-114.

³. LAUGIER, *op. cit.*, p. 168.

⁴. *Ibid.*, p. 312.

⁵. P. PINON, "A travers révolutions architecturales et politiques : 1715-1848", in : L. BERGERON (ed.), *Paris, genèse d'un paysage*, Paris : Picard, 1989, pp. 156-161.

⁶. A. PICON, *Architectes et ingénieurs au siècle des Lumières*, Marseille : Ed. Parenthèses, 1988, p. 174.

⁷. LAUGIER, *op. cit.*, pp. 312-313.

régularité & de la bizarrerie"¹, celles-ci doivent être maîtrisées : "Le plan de Paris a été fait au hasard & sans dessein, aussi est-il défectueux dans tous les points."²

Mais Laugier en reste à la déclaration de principe, et c'est à Pierre Patte que l'on doit la première vision réaliste de l'assise technique de la ville.

Le plan total

Pierre Patte (1723-1814), architecte élève de Boffrand³, est tombé dans l'oubli jusqu'à ce qu'une thèse — fort monographique il est vrai⁴ — lui soit consacrée en 1940. Si l'on peut affirmer avec Antoine Picon que "la carrière d'architecte de Patte demeure assez médiocre"⁵, on retient aujourd'hui son œuvre de gravure⁶ : avec lui, "le dessin, débordant le champ esthétique, est avant tout un instrument d'investigation scientifique, qui lui permet d'accumuler et de contrôler les connaissances"⁷ ; son goût de la polémique : avec Diderot et les Libraires Entrepreneurs, éditeurs de l'*Encyclopédie*, pour lesquels il travaille de 1757 à 1759 avant de dénoncer le pillage des planches de Réaumur⁸, avec Soufflot, à propos de la stabilité du Panthéon⁹ ; enfin, et surtout en ce qui nous concerne, Patte apparaît aujourd'hui comme un maillon essentiel de l'histoire de l'architecture et de l'urbanisme à travers deux ouvrages : *Monumens érigés en France à la gloire de Louis XV*¹⁰, et surtout *Mémoires sur les objets les plus importants de l'architecture* (Paris, 1769), "ouvrage indûment oublié par les historiens"¹¹, selon Françoise Choay.

¹. *Ibid.*, p. 313.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. M. MATHIEU, *Pierre Patte, sa vie et son œuvre*, Paris, 1940, p. 1. Pour de plus amples renseignements sur la biographie de Patte, voir l'"Essai de table chronologique de la vie de Pierre Patte" (*ibid.*, pp. 322-325), et la notice d'Antoine Picon (*op. cit.*, pp. 303-304).

⁴. Comme l'a souligné Françoise Choay. F. CHOAY, *La règle et le modèle : sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*, Paris : Ed. du Seuil, 1980, p. 261.

⁵. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, *op. cit.*, p. 304.

⁶. MATHIEU, *op. cit.*, chap. Ier : "Autour de l'œuvre de gravure de Patte".

⁷. CHOAY, *op. cit.*, p. 262.

⁸. MATHIEU, *op. cit.*, p. 21 sq.

⁹. *Ibid.*, chap. IV : "Le conflit entre Patte et Soufflot à propos de l'église Sainte-Geneviève".

¹⁰. P. PATTE, *Monumens érigés en France à la gloire de Louis XV (...)*, Paris, 1765.

¹¹. CHOAY, *op. cit.*, p. 261.

En effet, le premier comprend un chapitre consacré aux "embellissemens de Paris"¹, dans lequel il dénonce la mauvaise disposition et la malpropreté de la capitale. Constatant que "depuis environ cinquante ans, près de la moitié de Paris a été rebâtie, sans qu'il soit venu dans la pensée de l'assujettir à aucun plan général"², Patte donne les principes d'un tel plan : "je ne répèterai point, avec tant d'autres, qu'il seroit nécessaire d'abattre tout Paris pour le reconstruire, si l'on vouloit en faire une belle ville : je pense au contraire qu'il faudroit conserver tout ce qui est digne de l'être"³ ; car "il n'est pas nécessaire, pour la beauté d'une ville, qu'elle soit percée avec la froide symmétrie des villes du Japon & de la Chine [...]. L'essentiel est que tous ses abords soient faciles ; qu'il y ait suffisamment de débouchés d'un quartier à l'autre [...]. Il convient surtout d'éviter la monotonie."⁴ Après ce parti pris d'esthétique et de lisibilité qui annonce ses projets ultérieurs, il s'arrête aux modalités de réalisation du plan d'embellissement :

"Les maisons de dessus les ponts seroient supprimées, ainsi que tout ce qui est mal bâti, mal décoré, d'une construction gothique, ou dont les dispositions seroient estimées vicieuses par rapport aux embellissemens projetés. On feroit ensuite graver l'ensemble [...], avec la position exacte & respective de tous les édifices à conserver. Les gravures en seroient distribuées à tous les gens à talens, que l'on inviteroit en concours à composer des projets [...], à condition de s'assujettir à toutes les réserves."⁵

Les projets seront exposés publiquement, et les *connoisseurs* donneront leur avis par écrit. Le plan retenu sera lui aussi gravé, et "autorisé par un arrêt du conseil d'état qui en ordonneroit l'exécution"⁶. Patte développe ensuite ce que nous appellerions le montage financier et le phasage des opérations, mais sa démonstration est en la matière peu convaincante, selon Antoine Picon⁷.

Dans les *Monumens*, avant même d'évoquer le plan, Patte aborde la question de la salubrité. Mais il ne fait que reprendre les dénonciations de son temps : le "mauvais air"⁸,

¹. PATTE, *Monumens (...), op. cit.*, chap. XVIII : "Des embellissemens de Paris".

². *Ibid.*, p. 213.

³. *Ibid.*, p. 221.

⁴. *Ibid.*, p. 222.

⁵. *Ibid.*, p. 221.

⁶. *Ibid.*, p. 222.

⁷. PICON, *Architectes et ingénieurs (...), op. cit.*, p. 188.

⁸. PATTE, *Monumens (...), op. cit.*, p. 214.

dû aux "rues étroites, tortueuses, qui respirent par-tout la mal-propreté"¹, à la position centrale de "l'Hôtel-Dieu, qui est le réceptacle de toutes les maladies contagieuses"², aux sépultures dans les églises ou aux cimetières en pleine ville. S'il évoque le manque d'eau, ce n'est que pour rapporter les différents projets de distribution, de Perrault à Deparcieux. Dans les *Mémoires*, s'affirment et s'affinent ses conceptions, avec ses "Considérations sur la distribution vicieuse des villes, & sur les moyens de rectifier les inconvénients auxquels elles sont sujettes"³, qui en constituent l'entrée en matière. Là où Maé Mathieu s'était contentée de louer Pierre Patte urbaniste ("le plus grand urbaniste de son siècle [...] il reste moderne"⁴), Bruno Fortier proposera le premier une analyse succincte du projet de Patte : "Projet très logiquement ignoré par les histoires de l'urbanisme puisqu'il ne crée rien d'immédiat mais veut constituer pour la ville l'assise d'un sol technique, séparant définitivement le socle immobile de Paris d'une aire de surface entièrement vouée à la circulation"⁵, développée plus tard par Françoise Choay puis Antoine Picon — dont ni les objectifs, ni les points de vue ne convergent parfaitement.

Pour Choay,

"Le grand dérangement, occulte ou manifeste, qui, dès la deuxième moitié du XVIII^e siècle, a ébranlé les pratiques traditionnelles des sociétés occidentales et fait surgir de nouvelles relations avec le monde et le savoir, retentit également sur l'organisation des paradigmes instaurateurs [de la théorie de l'architecture]. Trois facteurs, en particulier, y contribuent : le développement des sciences physiques et de leurs applications techniques ; la médicalisation du savoir et des pratiques sociales ; la mise en place de la «disciplinarité»."⁶

¹. *Ibid.*, p. 212.

². *Ibid.*, p. 213.

³. PATTE, *Mémoires sur les objets les plus importants de l'architecture*, Paris, 1769, chap. 1.

⁴. MATHIEU, *op. cit.*, p. 91.

⁵. FORTIER, *op. cit.*, p. 123.

⁶. CHOAY, *op. cit.*, p. 260.

Et Patte participe de ce mouvement : "Il s'intéresse directement à la chimie, à l'hydrologie, à la géologie, à l'hygiène¹, qu'il veut voir œuvrer à la production du cadre bâti."² La "déconstruction que Patte fait subir à la figure du traité"³, s'accompagne

d'"une nouvelle vocation de l'architecte⁴ (pas encore urbaniste) : non plus occupé à transcrire la demande des autres, cessant de faire face à un horizon illimité de possibles, il impose aux habitants des villes une vérité [...]

[...] celle de la science et de ses applications techniques. La «rectification» de la ville du XVIIIe siècle qu'elle inspire à Patte relève, en dépit de sa sonorité utopisante, de la démarche qui, un siècle plus tard, commandera la «régularisation» de Paris par Haussmann."⁵

On peut aussi bien voir dans la rectification urbaine de Patte un transfert de vocabulaire et une généralisation de la pensée hydraulicienne à la ville tout entière. En effet, on rectifie d'abord les rivières et Patte lui-même propose une correction du lit de la Seine, la lecture des travaux de P. Buache et ses observations personnelles lui suggérant que le nœud de l'Aiguillette est la cause principale des inondations parisiennes, par l'obstacle qu'il met à l'écoulement des eaux⁶. En outre, nous le verrons, la circulation de l'eau est au centre du plan total.

Picon est plus mesuré à l'égard de Patte, dans un ouvrage qui n'a pas, il est vrai, la volonté d'embrasser la théorie de l'architecture et de l'urbanisme dans son ensemble, mais veut montrer, à travers quelques personnages clefs⁷, la "crise de la théorie architecturale classique"⁸ et l'émergence de la pensée de l'ingénieur au XVIIIe siècle :

¹. Comme en témoigne la première partie des *Monumens*, ce "tableau du progrès des Arts et des Sciences sous le règne de Louis XV", qui nous semble complet et bien documenté et n'oublie rien des dernières découvertes scientifiques et techniques.

². CHOAY, *op. cit.*, p. 262.

³. *Ibid.*, p. 264.

⁴. Académique s'entend.

⁵. *Ibid.*, p. 268.

⁶. PATTE, "Observations sur le mauvais état du lit de la Seine à travers Paris, et sur ses conséquences par rapport à sa navigation, à la grande étendue de ses débordemens, à l'exhaussement successif de son sol, et à nombre de causes relatives à sa constitution physique", in : PATTE, *Mémoires qui intéressent particulièrement Paris*, Paris, an IX.

⁷. Jacques-François Blondel, Pierre Patte, Jean-Rodolphe Perronet, Gaspard Riche de Prony, Etienne-Louis Boullée et Claude-Nicolas Ledoux.

⁸. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, *op. cit.*, p. 21.

"au projet singulier de l'architecte s'oppose la volonté d'aménagement global des ingénieurs"¹ qui "auront de plus en plus tendance à inscrire la production du bâti au sein d'un système dynamique de tensions et de flux"². Pour lui, en effet, la fortune posthume de Patte :

"est ainsi liée en grande partie à la redécouverte opérée par les historiens et les architectes de ce siècle, redécouverte ambiguë, puisqu'elle repose le plus souvent sur l'émergence du Mouvement Moderne et le désir de lui trouver des antécédents. Aujourd'hui encore, il n'est pas inutile de rappeler que Patte est plus proche de Blondel que de Le Corbusier."³

Quels sont alors ces *Mémoires* ? Nous ne proposerons pas une nouvelle lecture de Patte, mais insisterons sur la technicité de son projet. Comme ses contemporains et comme dans les *Monumens*, Patte dénonce ces villes qui "vous présenteront de toutes parts le séjour de la malpropreté, de l'infection, & du mal-être"⁴, car "toujours ce sont des causes étrangères au bonheur des hommes qui ont guidé dans ces établissemens [...] : on ne songe qu'à des vues politiques"⁵. Lui se "propose [...] d'examiner [...] comment on pourroit tirer un parti avantageux des élémens, c'est-à-dire, les diriger pour la plus grande utilité des hommes, & de cette façon à les empêcher de nuire dans les Cités."⁶

Tout d'abord, le choix de l'emplacement : la ville sera installée dans une plaine, au confluent de deux rivières navigables ou bien de part et d'autre "d'une grande rivière qui la traverse du levant au couchant"⁷, le courant d'eau contribuant à la salubrité de l'air, comme le rejet des activités insalubres, hôpitaux et cimetières⁸ à l'extérieur de la ville. Enfin, le climat dicte la largeur des rues et la hauteur des habitations (trois étages pour des

¹. *Ibid.*, loc. cit.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, p. 304.

⁴. PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, op. cit., p. 6.

⁵. *Ibid.*, p. 4.

⁶. *Ibid.*, p. 7.

⁷. *Ibid.*, p. 8.

⁸. Plus tard, Patte aborde dans le détail la question des cimetières parisiens : il élabore un projet de quatre cimetières périphériques (distribution, capacité, financement), tout en insistant sur la valeur morale du *cérémonial de l'inhumation*. PATTE, "De la translation des cimetières hors de Paris, avec le moyen de l'effectuer de façon à relever l'honneur de la sépulture, et à rendre ces établissemens une source abondante de secours pour les pauvres et les malheureux", in : PATTE, *Mémoires qui intéressent (...)*, op. cit.

rues de quarante à soixante pieds de large en climat tempéré¹). Mais, pour Choay, la "démarche [...] réactionnelle, contre-propositionnelle"² de Patte, "même si l'idée en est abstraitement suggérée par l'auteur, [...] n'a pas pour destination de proposer un modèle spatial."³ Elle donne néanmoins quelques indications — peu novatrices il est vrai.

Cependant, "c'est dans le domaine des techniques que l'ingéniosité de Patte donne toute sa mesure"⁴, et qu'il fait de véritables propositions visant à maîtriser les éléments naturels et à assurer la propreté de la ville (figure 32).

La circulation des personnes

Pour Patte, il faut séparer les voitures des gens de pieds : de part et d'autre de la chaussée centrale réservée aux voitures circuleront les piétons, protégés par des bornes placées de dix pieds en dix pieds — il refuse donc l'instauration de ces trottoirs qui commencent à équiper les plus belles rues de Paris et qui suscitent en effet à la fin du XVIII^e siècle les réactions les plus mitigées : ce "sont de vrais casse-cous", s'exclame Chauvet⁵, suivi par N. Goulet :

"Chacune des maisons qui bordent les rues de Paris, a au moins une porte d'entrée, et un ruisseau pour l'écoulement de ses eaux, qui sont autant d'obstacles à l'exécution des trottoirs, parce que le sol des anciennes maisons étant, pour la plupart, à la hauteur de celui de la rue, et ne pouvant se relever sans entraîner leur démolition totale, il faudrait non-seulement descendre, dans chaque maison, la marche qu'on aurait montée sur le trottoir, ce qui serait fort incommode ; mais il arriverait encore que les eaux des cours ne pourraient plus sortir dans la rue, si ce n'est par des gargouilles profondes qu'il faudrait traverser à chaque pas, ou dans lesquelles le pied se prendrait très-souvent. [...] Comme il faut que les voitures sortent de plein-pied des maisons dans la rue, il est nécessaire de couper le trottoir à chaque porte, ce qui fait qu'on ne peut faire vingt ou trente pas, sans descendre ou remonter des pentes ou des marches, ainsi qu'on peut l'observer dans la rue de l'Odéon et dans la rue de Pelletier notamment, où cela est insupportable."⁶

¹. PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, op. cit., p. 13.

². CHOAY, op. cit., p. 267.

³. *Ibid.*, loc. cit.

⁴. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, op. cit., p. 180.

⁵. CHAUVET, op. cit., p. 15.

⁶. N. GOULET, *Observations sur les embellissemens de Paris (...)*, Paris, 1808, pp. 166-167.

Oui, mais ils peuvent soutenir le commerce, souligne l'abbé Arthur Dillon qui remarque qu'à Paris, "les vitres des boutiques sont souvent tellement recouvertes de boue, que l'on a peine à distinguer les objets qui s'y trouvent à vendre"¹.

Mais revenons aux rues pattiennes. Ordinaires, elles ont quarante-deux pieds de large (8 à 9 + 25 + 8 à 9 pieds), principales, soixante (12 + 36 + 12 pieds), et ni le confort — des bâches sont déroulées au-dessus des voies piétonnières par temps de pluie —, ni la fonction sociale — "je serois d'avis que l'on plaçât toujours les boutiques des Marchands en vûe le long des rues, cela lui donneroit un air de vie & feroit spectacle"² — ne sont oubliés.

Le pavage retient toute son attention : grands pavés pour les piétons, pavés d'échantillon (huit à neuf pouces de côté) pour les voitures, afin que les chevaux ne glissent pas.

"Les grands pavés étant placés sur une bonne forme maçonnée avec chaux & ciment, non-seulement accoteroient le bas des maison & contribueroient à leur durée, en garantissant leurs fondations de beaucoup d'humidité, mais encore affermeroient ces chemins, au point qu'il y auroit rarement à refaire. Pour parvenir aussi à solider le sol de la chaussée, & à lui donner toute la consistance nécessaire, il n'y auroit qu'à creuser la terre au dessous du pavé d'un pied de profondeur, remplacer cette terre par huit ou neuf pouces de gros gravier bien battu à la demoiselle, puis répandre un lait de chaux sur sa surface pour rendre cette masse encore plus compacte, & enfin mettre une couche de trois ou quatre pouces du meilleur sable de rivière, pour faire la forme du pavé & garnir ses joints."³

Cette consolidation du sol passe aussi par un rejet de l'exhaussement urbain :

"Une autre attention que l'on devrait toujours avoir, en repavant les rues, se seroit de s'attacher sans cesse à conserver le même niveau : car par un abus qui n'est que trop ordinaire dans les villes, & auquel devrait veiller la Police, leur terrain va continuellement en haussant. Pour en être persuadé, il n'est besoin que de remarquer qu'on est obligé de descendre dans la plupart des bâtiments anciens où l'on montoit autrefois : la raison en est qu'en faisant la forme du pavé, on ajoute toujours plus de nouveau sable qu'on en emporte d'ancien, de sorte qu'à la longue les maisons s'enterrent, & l'eau des ruisseaux y entre : ce qui est très-désagréable, & rend singulièrement humide les rez-de-chaussée."⁴

¹. A. DILLON, *Utilité, possibilité, facilité de construire des trottoirs dans les rues Paris*, Paris, 1803, p. 16.

². PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, op. cit., p. 23.

³. *Ibid.*, pp. 25-26.

⁴. *Ibid.*, p. 26.

En effet, le fond de la rivière s'élevant par les dépôts favorisés par le nœud de l'Aiguillette, "une suite naturelle [...] a dû être d'obliger d'élever de plus en plus le sol des rues de Paris ; et voilà pourquoi la plupart de ses anciens bâtimens sont enterrés."¹

L'eau et le nettoyage

La rivière (ou les sources) fournit l'eau ordinaire², et "il seroit à souhaiter que l'on pratiquât entre elle [la ville] & les Fauxbourgs ou au-delà des Faubourgs, un canal de circonvallation avec des réservoirs de distance en distance, où l'on élèveroit une quantité d'eau suffisante, pour être distribuée dans ses différens quartiers."³ Les eaux saines étant rares, seule l'eau de pluie semble pouvoir offrir une qualité suffisante pour la boisson : "Il n'est pas douteux qu'elle soit très-pure : comme elle a été élevée dans l'atmosphère par une véritable distillation, purifiée par son agitation dans l'air, pénétrée de toutes part par les rayons du soleil, elle ne sçauroit manquer d'être extrêmement légère"⁴. On recueillera donc l'eau de pluie des toits, et

"au lieu de la laisser couler au hasard & sans précaution dans une citerne que l'on nettoye rarement, & où son long séjour lui fait perdre souvent sa qualité, il ne s'agiroit que de la réunir dans une espèce de grande cuve ou fontaine sablée pratiquée dans un endroit commode de chaque maison : alors cette eau déjà pure par elle-même se trouvant dégagée de tout limon & de toute partie terrestre, au moyen de cette filtration, réuniroit au suprême degré toutes les qualités qu'on peut désirer."⁵

Il y a certainement "quelque légèreté"⁶, selon l'expression de Picon, dans cette proposition. Néanmoins dans une ville comme Paris où la pluviométrie est de six cents millimètres par an en moyenne, les eaux reçues par le toit d'un immeuble de huit mètres de côté représentent environ 38 m³ par an, soit 100 litres par jour. Combien de personnes vivent dans l'immeuble de trois étages préconisé par Patte ? Si l'on suppose

¹. PATTE, "Observations sur le mauvais état du lit de la Seine (...)", *op. cit.*, p. 14.

². Nous emploierons ce terme pour les distinguer des eaux de boisson.

³. PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, *op. cit.*, p. 34.

⁴. *Ibid.*, p. 57.

⁵. *Ibid.*, p. 58.

⁶. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, *op. cit.*, p. 180.

que la consommation d'eau de boisson s'élève à trois litres par jour et par personne¹, ce qui constitue une borne largement supérieure, on pourrait satisfaire de cette façon les besoins d'une trentaine de personnes. La quantité est donc largement suffisante, la question de la qualité demeurant.

Plus aboutie est la gestion des eaux usées. "Les puisards, à cause de la filtration de leurs eaux, minent peu à peu les fondations des maisons qui les avoisinent, les rendent malsaines & humides"², et altèrent les eaux d'alimentation ; les ordures "sont balayées & amassées en tas le long des maisons, pour être transportées dans des voitures hors de la Ville"³, créant de surcroît des encombrements malsains, constate Patte. Il faut donc implanter sous les rues des aqueducs de six pieds de large et sept pieds de haut, à cinq pieds sous le pavé :

"de 15 toises en 15 toises, il suffiroit de pratiquer des espèces de puits au-dessus de ces aqueducs, d'environ 2 pieds de diamètre, fermés à l'aide d'une pierre armée de fer avec un anneau au milieu pour faciliter son ouverture. De crainte qu'on ne jettât des gravois dans ces puits, ou que des malfaiteurs fussent tentés d'aller se réfugier la nuit dans les souterrains, il y auroit deux barres de fer en croix pour en défendre l'entrée"⁴

Ainsi l'aqueduc pourra-t-il recevoir les immondices des rues balayées quotidiennement, qui seront entraînés grâce à l'ouverture des vannes des réservoirs d'eau ordinaire,

"suivant un certain ordre combiné, qui formeroit une sorte d'enchaînement relatif, soit aux pentes, soit aux différentes situations des rues & des quartiers [...]"

"[...] A l'embouchure de ce grand cloaque, il y auroit un grillage maillé qui arrêteroit les ordures non fluides, susceptibles de faire un dépôt, lesquelles seront voiturées de-là, avec des tombereaux, dans la campagne, pour servir d'engrais."⁵

En effet, l'aqueduc reçoit aussi les eaux usées domestiques :

¹. Bruyère estime les besoins domestiques à sept litres par jour et par personne, y compris la lessive et le lavage. L. BRUYERE, *Rapport du 9 floréal an X pour éclairer l'administration sur les moyens pour fournir l'eau nécessaire à la consommation de Paris*, Paris, an X, p. 7.

². PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, op. cit., p. 29.

³. *Ibid*, loc. cit.

⁴. *Ibid.*, p. 37.

⁵. *Ibid.*, loc. cit.

"Il n'y auroit qu'à établir toujours les latrines au rez-de-chaussée, & tenir leur fosse peu profonde en forme d'égoût : alors en plaçant dans le fond un tuyau [...] disposé en pente vers l'aqueduc, les matières y seroient conduites à mesure. Dans l'intention de précipiter leur écoulement, il faudra faire en sorte de diriger à travers les petites fosses en question, toutes les eaux d'une maison [...]. Par ce procédé ces endroits seroient sans cesse lavés, & leurs immondices étant successivement entraînées, il ne pourroit résulter aucune odeur, dans les maisons, par leur séjour."¹

Il s'agit donc bien d'un *tout-à-l'égout*, en un temps où liquides et solides sont généralement dissociés et où le ruisseau est souvent jugé suffisant pour la majeure partie des rues. Encore J. H. Ronesse souligne-t-il que :

"Il seroit donc très-important de donner plus de pente aux rues, & de faire de nouveaux égouts. Mais le premier expédient est impraticable : ce seroit bouleverser tout Paris : il faudroit reprendre beaucoup de maisons en sous-œuvre ; rebaisser ou exhausser les cours de celles à portes-cochères ; rompre les voûtes des caves ; changer toutes les distributions des rez-de-chaussée ; augmenter ou diminuer le nombre des marches des escaliers, ce qui entraîneroit la démolition entière de plusieurs ; enfin nombre de boutiques, dans lesquelles on ne pourroit entrer qu'en montant ou en descendant plusieurs marches, resteroient sans locataires.

"Ainsi le seul moyen de se débarrasser des boues, le plus promptement & avec le moins de peine possible, c'est de faire de nouveaux égouts"²,

préfiguration, comme chez Patte, de la distinction entre la surface et le sous-sol, puisque la canalisation supplée au manque de pente du terrain. Ronesse pressent par ailleurs les questions de dimensionnement et d'imperméabilisation lorsqu'il évoque le Grand-Egout, réaménagé sous Turgot : "on avoit calculé les dimensions qu'il étoit nécessaire de lui donner sur l'étendue de la superficie du pavé dont il devoit recevoir les eaux ; & l'on n'avoit pas pu prévoir que tout ce quartier immense de la chaussée d'Antin, qui étoit alors en marais, seroit bâti"³.

Tournon, qui suggère l'installation de *cache-ordures* dans les maisons⁴, préconise quant à lui le double ruisseau pour les rues larges et des *canaux recouverts* dans les rues étroites. Ainsi, dans les premières comme dans les secondes, les gens de pied pourraient-ils circuler en toute sécurité et sans crotter leurs habits ; la marche à pied retrouverait tout

¹. *Ibid.*, p. 38.

². RONESSE, *op. cit.*, pp. 86-87.

³. *Ibid.*, pp. 76-77. Ronesse évoque en outre le problème de l'organisation des *services techniques* urbains. *Ibid.*, p. 77 *sq.*

⁴. TOURNON, *op. cit.*, p. 14.

son agrément, d'où une baisse de la circulation hippomobile, grande productrice de boue¹. Le coût des canaux recouverts, qui doivent à Paris équiper 10 826 toises de rues étroites², est estimé à 20 livres la toise³.

Mais Patte s'arrête aussi aux modalités de construction de l'aqueduc souterrain :

"On assureroit sa solidité, en construisant sa partie inférieure en forme de voûte renversée avec des clavaux de grais ou de pierre dure, & en faisant sa partie supérieure aussi voûtée, soit en pierre de meulière, soit en petits moilons de roche avec des chaînes de pierre dure, de douze pieds en douze pieds. De plus, il n'y auroit qu'à pratiquer sous toute la superficie de la voûte renversée, un massif d'environ quinze pouces d'épaisseur aussi de pierre de meulière à bain de mortier de chaux & ciment, pour intercepter tout passage à l'eau."⁴

Enfin, il ne s'agit pas seulement d'un égout, mais bien d'une galerie technique, puisqu'elle accueille les conduites d'eau ordinaire. En effet, celles-ci sont habituellement implantées en pleine terre, et

"il arrive delà que l'on est obligé de faire des fouilles continuelles au milieu de la voie publique [...], ce qui empêche la circulation des équipages. D'ailleurs ces tuyaux par leur position sont de toute nécessité étonnés par le poids des voitures, qui, en affaissant le terrain inégalement, les obligent de s'allonger & de prendre des sinuosités qui, non-seulement les font crever, mais vont même quelquefois jusqu'à empêcher l'eau de couler, à cause de l'air qui se loge dans les coudes ou parties supérieures des conduits."⁵

Patte évoque ici la question de la transmission des charges dynamiques, encore mal maîtrisée aujourd'hui. Déjà évoquée par Bélidor pour le dimensionnement des murs de soutènement :

"on auroit tort de faire des revêtemens qui fussent parfaitement en équilibre avec la poussée des Terres, surtout quand ils servent pour des Chaussées, des Quays, &c. puisque dans ce cas ils doivent non-seulement soutenir les Terres, mais encore le poids des Voitures & l'ébranlement

¹. *Ibid.*, pp. 25-29.

². *Ibid.*, p. 43.

³. *Ibid.*, p. 65.

⁴. PATTE, *Mémoires sur les objets (...), op. cit.*, p. 35.

⁵. *Ibid.*, pp. 31-32.

qu'elles peuvent causer ; c'est pourquoi quand on n'y fera pas des contreforts, je voudrais qu'on leur donnât un quart plus de force qu'il ne leur en faudroit dans l'état d'équilibre"¹,

elle inquiète les contemporains de Patte pour le modeste pavé : Ronesse, qui souligne qu'"un seul grès enfoncé, écorné, écrasé, suffit pour causer un enfoncement dangereux, par le jeu qu'ont alors les pavés d'alentour"², condamne l'usage des voitures à deux roues — "Si ces voitures en avoient quatre, le poids seroit plus divisé, & le pavé moins maltraité."³ —, ajoutant : "Il y a plus : ne pourroit-on pas, comme en Angleterre, obliger les propriétaires de toutes ces grosses voitures, à ne les faire rouler que sur des roues dont les jantes eussent une largeur proportionnée au poids ?"⁴

Ainsi, avec Patte, "tout comme l'ouvrage d'art, la rue devient une machine régulant un ensemble de flux : l'écoulement de l'eau et le trafic des véhicules"⁵. Il faudrait en outre évoquer ses vues sur la ventilation des logements⁶, ses propositions pour l'éclairage public⁷, qui l'amènent concevoir une lampe à huile de faine (fruit du hêtre), combustible quatre fois moins coûteux que l'huile de chandelle commune. Peut-on voir dans la *ville improductive* de Patte, à l'instar de Picon⁸, une traduction de la montée en puissance des physiocrates ? Il serait pour cela nécessaire d'analyser le discours de François Quesnay et des ses adeptes sur l'amendement des terres.

Précurseur génial ou produit de son temps, Patte nous donne une analyse des techniques urbaines qui diffère peu de celle que nous ferions aujourd'hui ; non pas qu'il soit le frère aîné de Le Corbusier — il se rapprocherait d'ailleurs plutôt d'Eugène Hénard et d'Edouard Utudjian, dont nous aborderons plus tard les travaux (chap. IV, § IV.2) —, mais plutôt parce que depuis l'avènement du réseau, la recherche des ingénieurs sur le milieu physique urbain sommeille : bon an mal an l'eau parvient aux

¹. BELIDOR, *op. cit.*, livre 1er, p. 35.

². RONESSE, *op. cit.*, p. 18.

³. *Ibid.*, pp. 18-19.

⁴. *Ibid.*, p. 19. Nous dirons quelques mots du roulage au chapitre III, § III.2.2, c ("Le roulage").

⁵. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, *op. cit.*, p. 182.

⁶. PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, *op. cit.*, pp. 39-40.

⁷. PATTE, *De la manière la plus avantageuse d'éclairer les rues d'une ville pendant la nuit, en combinant ensemble la clarté, l'économie et la facilité de service*, Amsterdam, 1768.

⁸. PICON, *Architectes et ingénieurs (...)*, *op. cit.*, p. 188.

robinets et les stations d'épuration reçoivent les eaux usées — non sans dysfonctionnement, mais la situation n'est pas encore si catastrophique que l'on remette en question la formation et la compétence des ingénieurs et techniciens qui en ont la charge.

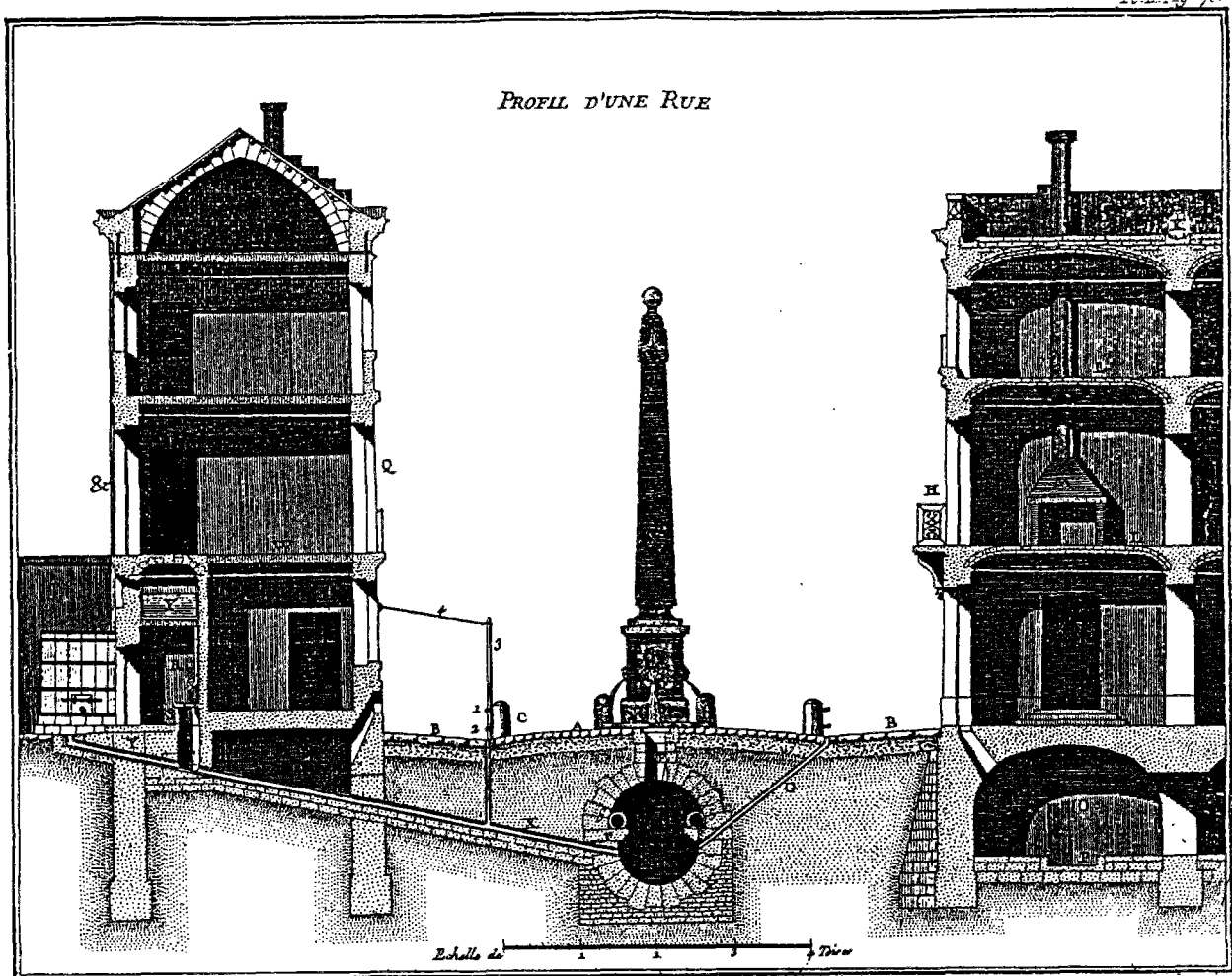


Figure 32. L'assise technique de la ville conçue par Patte.

Légende :

- "A, Profil de la chaussée [...].
- B, B, Profils des chemins destinés pour les gens de pied.
- C, Bornes avec de doubles colliers de fer, 1, 2, dans lesquels sont passées des perches 3, pour soutenir une banne 4 de toile cirée, lors des mauvais tems.
- D, Profil d'un des cloaques ou aqueducs souterrains ; [...] sa voûte supérieure est percée d'un trou E en forme de puits, pour recevoir toutes les ordures des rues.
- F, F, Banquettes à droite & à gauche de l'aqueduc, soutenant les tuyaux, 5, 6, de fer fondu, pour conduire l'eau dans les maisons.
- G, Direction d'un des conduits des ruisseaux dans l'aqueduc D.
- I, Terrasse couverte de dalles de pierre.
- K, Caniveau servant de chéneau.[...]
- O, Cave dont l'aire est couverte de dalles posées sur un petit massif de maçonnerie : au milieu est une pierre creusée P [...] que l'on entretiendrait toujours propre, afin de recevoir dans un besoin le vin d'un tonneau qui viendrait à crever ou à s'échapper. [...]
- R, Coupe des latrines.
- S, Siège de commodité.
- T, Fosse peu profonde disposée en pente.
- V, Petit réservoir à l'usage des latrines, & pouvant se remplir de lui-même par le moyen de l'eau des toits.
- X, Tuyau des latrines disposé en pente sur un petit massif de maçonnerie [...].
- Y, Autre tuyau dirigeant toutes les eaux des ruisseaux de la cour à travers la fosse T, à dessein de laver continuellement cet endroit.
- Z, Fontaine domestique destinée à rassembler l'eau de pluie pour la boisson [...].
- &, Tuyau de conduite dirigeant l'eau des toits vers la fontaine[...]."

Source : P. PATTE, *Mémoire sur les objets les plus importants de l'architecture*, Paris, 1769, pl. II, pp. 68-70.

CHAPITRE II : L'ESSOR DES TECHNIQUES URBAINES (RÉVOLUTION ET EMPIRE)

Nous avons trouvé les premiers éléments propres à alimenter notre enquête : si nous ne pouvons souscrire à une analyse purement aériste ou aérienne de l'hygiénisme des Lumières, nous ne pouvons affirmer qu'un consensus médical et scientifique règne qui attribuerait au sol urbain les maux des citadins, d'autant plus que la chimie apporte de nouvelles données à la connaissance de l'élément universel qui reçoit toutes les émanations : l'air. On pourrait même affirmer que l'air joue pour les médecins le même rôle que l'eau pour les ingénieurs.

Pour les premiers, qu'ils croient ou non en la nature pernicieuse du sol, il est plus facile de se concentrer sur le renouvellement de l'air et sur la séparation des deux éléments — air et sol — que d'essayer de corriger la terre. C'est pourquoi la période qui s'étend de la Révolution à la fin du Premier Empire peut être considérée comme une phase de renoncement : renoncement à décrypter les exhalaisons que l'on essaye de contenir en promouvant l'étanchéité, donc renoncement à la mise en valeur économique du sol — concurrencé par ailleurs par la production manufacturière.

Pour les seconds, cette période est plus productive. D'une part, par la prise en compte, dans le comportement des terres, de leur diversité, d'autre part par l'essor du génie civil — par opposition au génie militaire. Alors que la maîtrise du territoire n'était le fait que des ingénieurs du Génie, les ingénieurs des Ponts et Chaussées vont en partie rattraper leur retard : en témoignent les travaux de Pierre-Simon Girard sur la ville de Paris et la naissance de la cartographie urbaine et civile en trois dimensions. Alors que le Génie œuvre aux abords de la cité, les Ponts et Chaussées travaillent au cœur de la ville et découvrent les terres anthropiques.

II.1. PRESENTIMENTS

II.1.1. MÉCANIQUE CONTRE PHYSIQUE

Révolution, Consulat et Empire relancent les spéculations sur le comportement des sols. La première par la désertion des officiers du Génie issus de la noblesse (deux tiers au moins)¹, par la vétusté de certaines fortifications, par la confiance nouvelle placée dans la fortification souterraine² ; puis, dès le Consulat, la relance des grands travaux et de la construction en général amène les ingénieurs sur le terrain des ports et des canaux.

a) *La poussée des terres*

En ce qui concerne la poussée des terres, c'est la reconnaissance du clivage entre la théorie et la pratique qui est la plus féconde. Partisan de la théorie de Coulomb, l'ingénieur des Ponts et Chaussées et directeur de l'école du même nom Prony condamne "ceux qui ont voulu considérer le prisme de terre qui *pousse*, comme une masse divisible, ou *système de forme variable*, qui n'ont point appliqué à la recherche des conditions de son équilibre les principes de mécanique qui donnent ces conditions"³, notamment les ingénieurs italiens et, de fait, certains ingénieurs français. Mais à la différence de Coulomb, il distingue angle de frottement interne et talus naturel du sol, admettant que l'angle du talus naturel d'une terre sans cohésion est double de l'angle de frottement

¹. La carence est telle qu'en 1791 l'Assemblée Nationale cherche à former le plus rapidement possible de jeunes ingénieurs du Génie à Paris et confie l'enseignement d'un cours de fortification à Belair (Motion de l'Assemblée Nationale du 15 Septembre 1791 pour remplacer le plus rapidement les élèves du Génie militaire, citée par BELAIR, *Eléments de fortification, suivi d'un dictionnaire militaire*, Paris, 1792, p. 4). Le 5 pluviôse an II (1794) est créée l'Ecole du Génie de Metz dont les élèves doivent avant tout passer par l'Ecole Polytechnique. Sur ce sujet, voir : DUMONTIER, *Ecole du génie de Metz 1794-1802; Ecole d'application de l'artillerie et du génie de Metz, 1802-1870*, 1958, exempl. dactylogr., Archives du Génie.

². Le *Rapport du premier inspecteur du génie au Ministre de la Guerre pour l'institution d'un prix du génie* rendu le 27 frimaire an X propose comme thème pour les deux premiers prix un *traité de fortification souterraine*. Quatre mémoires sont envoyés en 1804 au général Marescot, deux sont primés et imprimés, le *Traité de fortification souterraine, suivi de quatre mémoires sur les mines*, de Mouzé (Paris, an XII (1804)) et le *Traité théorique et pratique des mines* de Gumpertz et Lebrun.

³. PRONY, *loc. cit.* Prony est un familier de la poussée des terres qu'il a déjà étudiée dans sa *Nouvelle architecture hydraulique* (Paris, 1790). "Mais ayant eu depuis la publication de mon traité, l'occasion de m'occuper encore de cette théorie, j'en ai refait l'analyse en entier ; et je suis parvenu à la rendre tellement simple et claire, qu'elle pourra être appliquée utilement par les praticiens qui auront les plus légères notions de calcul", nous dit-il en introduisant ses *Recherches sur la poussée des terres (...)*, *op. cit.*, p. 1.

interne de cette terre (*i. e.* avec cohésion), autrement dit, que "le prisme de terre qui produit la plus grande poussée horizontale est celui dont l'angle est la moitié de l'angle"¹ du talus naturel.

Lui aussi suppose que le talus des terres est rectiligne, la cohésion "uniforme dans toute la masse de la terre qui tend à renverser un mur, et que le frottement est proportionnel à la pression normale"². En substituant l'angle de frottement interne à l'angle du talus naturel, il simplifie l'équation de la poussée maximale (figure 33) et, surtout, il étudie sa variation selon le type de terre considérée : "si les terres que le mur a à soutenir sont divisées, délayées, et approchent par conséquent de l'état de fluidité"³, la poussée tend à devenir indépendante des caractéristiques internes pour se confondre sans discontinuité avec la poussée de l'eau dans l'état ultime. La mesure de la cohésion d'un sol est nécessaire pour tout ingénieur *de service public* que forme l'Ecole polytechnique ; il faut "connaître le talus que les terres affectent lorsqu'elles sont fraîchement remuées, connaître la plus grande profondeur à laquelle on peut, avant que leur cohésion soit détruite, les fouiller à pic, sans qu'elles s'éboulent et conclure la force de cohésion de ces deux données"⁴ — un ancien élève de Prony, le capitaine du Génie Français s'intéressera plus précisément à ce dernier point en 1817. L'intérêt de la mesure n'est pas purement théorique : "il y a des précautions à prendre lorsqu'on fait des fouilles profondes dans des terres cohérentes. Si après avoir creusé d'une certaine hauteur, on voit s'y tenir sans éboulement sensible, on se trouve naturellement disposé à une sécurité souvent trompeuse"⁵.

¹. *Ibid.*, p. 7.

². *Ibid.*, p. 2.

³. *Ibid.*, p. 8.

⁴. *Ibid.*, p. 9

⁵. *Ibid.*, p. 10.

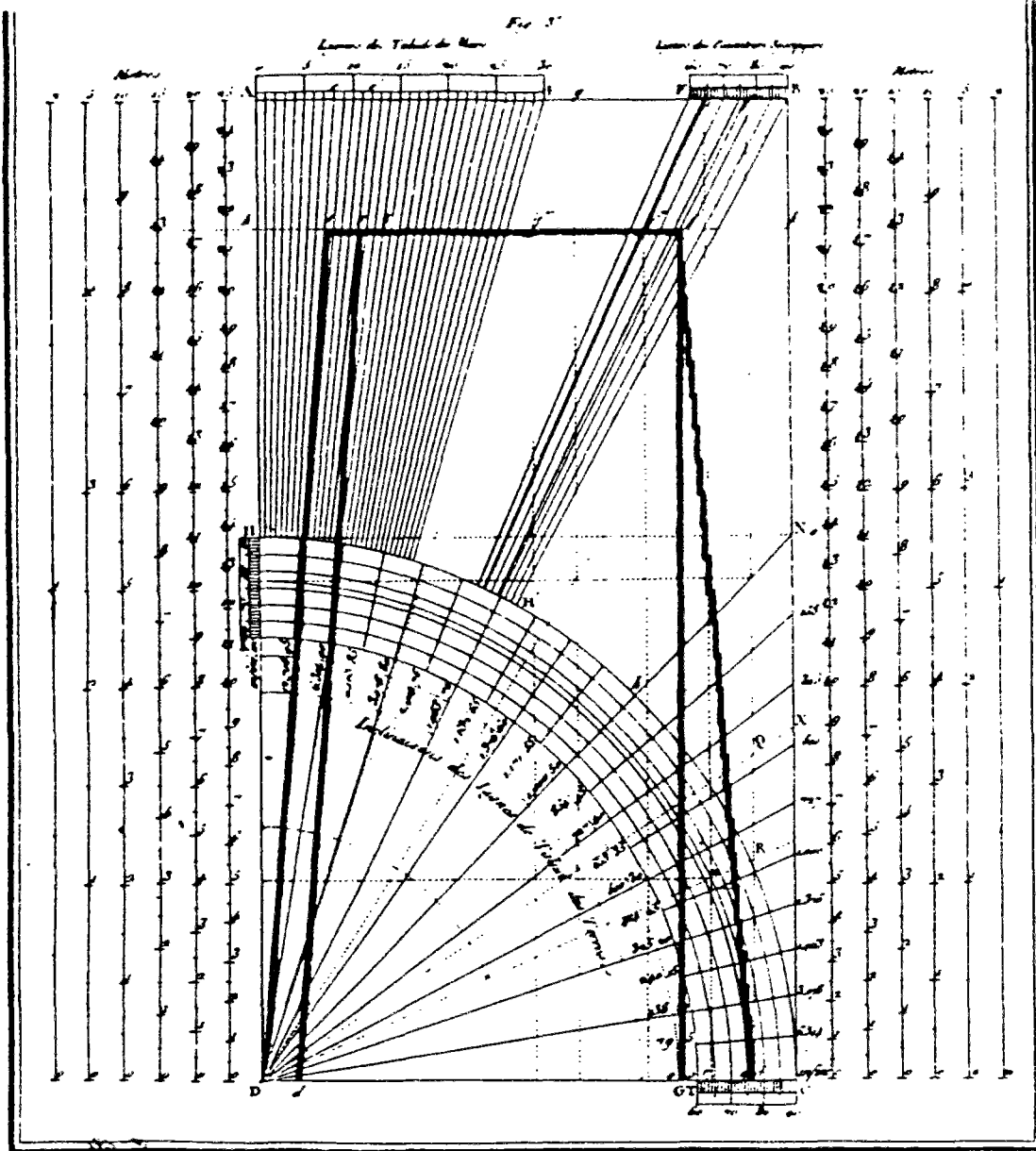


Figure 33. Méthode graphique de Prony.

"Soit le parallélogramme ABCD. AD divisé en 100 parties, AB en 55, AE en 30 et AF en 45. Divisez AE (ligne des talus des murs) en 60 parties ; FB (ligne de pesanteur spécifique) en 30 et de chaque point de la division mener une ligne droite à D. Numérotez :

"1° les divisions de AE de 1 à 30 en prenant deux divisions pour un numéro ;

"2° les divisions FB en mettant le nombre 60 au point F ; et les nombres 61, 62, etc. aux points suivants jusqu'au point B qui portera le numéro 90.

"Calcul de l'épaisseur : faites TC = FB et rapportez sur TC les trente divisions de FB ; décrivez des arcs concentriques terminés aux lignes DC et DA dont le centre commun soit en D et dont les extrémités des rayons soient au point de division de TC. Divisez CH en degré. Tirez dans l'angle BDC, par les points de division du quart de cercle CH, et par le centre D les droites prolongées jusqu'à la ligne CB. On numérote les degrés sur l'arc intérieur KT, l'origine étant au point T. Enfin à partir de N, extrémité de DN qui fait avec DC 45°, on écrira les nombres sur les divisions de NC. Tout ceci ne donnant que des rapports, pour en venir aux valeurs absolues, on trace de chaque côté de la figure six lignes parallèles et égales à AD. L'une de ces lignes sera une échelle de 25 m et les cinq autres de 20, 15, 10, et 2 m. Les divisions des lignes FB et TC comprennent les rapports des pesanteurs spécifiques des terres à la maçonnerie depuis $\frac{60}{100}$ jusqu'à $\frac{90}{100}$."

D'après : PRONY, *Recherches sur la poussée des terres (...)*, Paris, an X (1802), pp. 31-33, pl. I, fig. 3.

Mais, comme dans le cas du nivellement barométrique que nous aborderons bientôt et de la théorie des voûtes¹, Prony demeure avant tout un théoricien féru de mathématique et de géométrie². Dès 1790, il lie les recherches sur la poussée des terres à celles relatives à la poussée de l'eau : "Nous aurions voulu terminer cette section par le problème de la poussée des terres contre les murs qui les soutiennent, mais la solution de ce problème tient à des considérations physiques sur plusieurs desquelles la théorie des fluides doit jeter quelques lumières [...] nous en retarderons la discussion"³, écrit-il dans sa *Nouvelle architecture hydraulique*. En effet, Prony, s'inspirant directement des expériences italiennes de Paolo Delanges⁴, regarde les terres comme des fluides plus ou moins imparfaits et, s'appuyant sur diverses expériences civiles, notamment celles que Gauthey, aidé par le corps du Génie, a effectuées en Bourgogne lors du creusement du canal⁵, formule sa théorie de la poussée à partir de l'hydrostatique.

La disparition de Coulomb en 1806 et l'ambiance belliqueuse favorisent de nouvelles études sur la poussée des terres. Le Comité de Fortification se tourne vers l'Ecole de Metz où se trouvent réunis depuis 1806 artilleurs et ingénieurs — malgré la méfiance de Napoléon à l'égard des officiers du Génie toujours prompts à spéculer sur la durée d'un siège⁶ et à méditer sur la guerre souterraine dont il n'a alors que faire.

Le *Mémoire sur la poussée des terres, d'après la théorie donnée en 1773 par Coulomb, officier du génie et membre de l'Académie des Sciences et d'après les expériences exécutées à Juliers, en novembre et décembre 1806, et en janvier 1807*⁷ est

1. PRONY, *Application de la mécanique des voûtes à la construction du pont de Neuilly, et Calcul de la stabilité des voûtes du pont Louis XVI*, Bibliothèque de l'E.N.P.C., ms 1505 et 1509, cités par PICON, *L'invention de l'ingénieur moderne : l'Ecole des Ponts et Chaussées (1747-1851)*, Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1992, pp. 76-77.

2. "Depuis votre seconde lettre, mon attention a été entièrement absorbée par des objets étrangers à la géométrie, mais une impulsion irrésistible m'y ramène sans cesse comme à une maîtresse adorée que l'absence rend encore plus chère", écrit-il à Lacroix, professeur de mathématique à l'école militaire de Besançon, le 18 avril 1793. Archives de l'Académie des Sciences, dossier Prony.

3. PRONY, *Nouvelle architecture hydraulique*, Paris, 1790, p. 168.

4. P. DELANGES, *Esperienze ed osservazioni intorno alla pressione delle terre, e alla resistenza di muri* (...), Vérone, 1779. Ouvrage traduit en français sous le titre de *Statique et mécanique des semi-fluides*.

5. *Emiland-Marie Gauthey (1732-1806)*, actes du colloque du Creusot, 1-3 avr. 1992, à paraître.

6. "Il faut à cette occasion se récrier contre cette manie qu'ont les officiers du Génie, de croire qu'une place ne peut se défendre que tant de jours", Lettre de Napoléon à Carnot, 1er oct. 1809 citée par L. CARNOT, *De la défense des places fortes*, 2e éd., Paris, 1811, p. 61.

7. Edité sous le titre *Traité expérimental* (...), *op. cit.*

présenté au Comité par le sous-directeur des fortifications Mayniel deux ans après le mort de Coulomb. Le Comité pense que le mémoire doit être publié mais que "cet ouvrage acquerrait un nouveau degré d'intérêt et d'utilité si l'on ajoutait aux expériences de Juliers faites avec des terres végétales, quelques expériences sur la poussée des sables, si M. Mayniel exposait et discutait dans son ouvrage toutes les expériences et toutes les théories connues sur la poussée des terres"¹. Ce traité, publié en 1808, remet fortement en question feu l'académicien : "avec Coulomb la question est résolue pour le savant, mais pas pour le constructeur tant que la cohésion et le frottement ne sont pas déterminés"², souligne Mayniel. Ainsi au moment d'un remblai :

"les sables ne peuvent acquérir de cohésion et ce n'est qu'après plusieurs années qu'elle devient telle qu'ils se maintiennent verticalement ; alors que les argiles acquièrent instantanément une forte cohésion et quelque fois, par des circonstances physiques, prennent un état de fluidité. De même des terres savonneuses acquièrent instantanément une forte cohésion et quelquefois, par des circonstances physiques, elles prennent un état de fluidité. Dans ce cas, le constructeur ne peut avoir égard à la cohésion qu'il peut faire acquérir aux terres momentanément, si des sources ou des pluies continues peuvent parvenir à les dissoudre"³.

Les limites de plasticité et de liquidité chères à nos mécaniciens des sols sont ici clairement énoncées, un siècle avant Atterberg.

L'intérêt des recherches de Mayniel est de montrer les défauts du modèle réduit employé dans les essais en laboratoire. Décrivant les diverses expériences de ses prédécesseurs pour déterminer le talus naturel des terres ou l'angle de frottement interne, il dénonce la petitesse des caisses à parois mobiles (à peine 3 m³) de Bélidor, Cadroy (1764), Gauthey (1784), Papacino d'Antoni, Rondelet, qui ne donnent que des résultats très médiocres⁴. Son coffre de 9 m³ de capacité (figure 34) lui permet de montrer que l'éboulement prend la forme d'une "calotte de sphéroïde très prononcée, coupée sur chaque côté par les parois"⁵, qu'un mur en briques simplement posées se renverse en totalité et non par tranches successives, ce qui disqualifie définitivement la méthode

¹. *Ibid.*, p. VI.

². *Ibid.*, p. XVII.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. *Ibid.*, pp. 1-9.

⁵. *Ibid.*, p. 19.

italienne, que "les terres damées avec soin donnent un éboulement moindre que les terres jetées"¹.

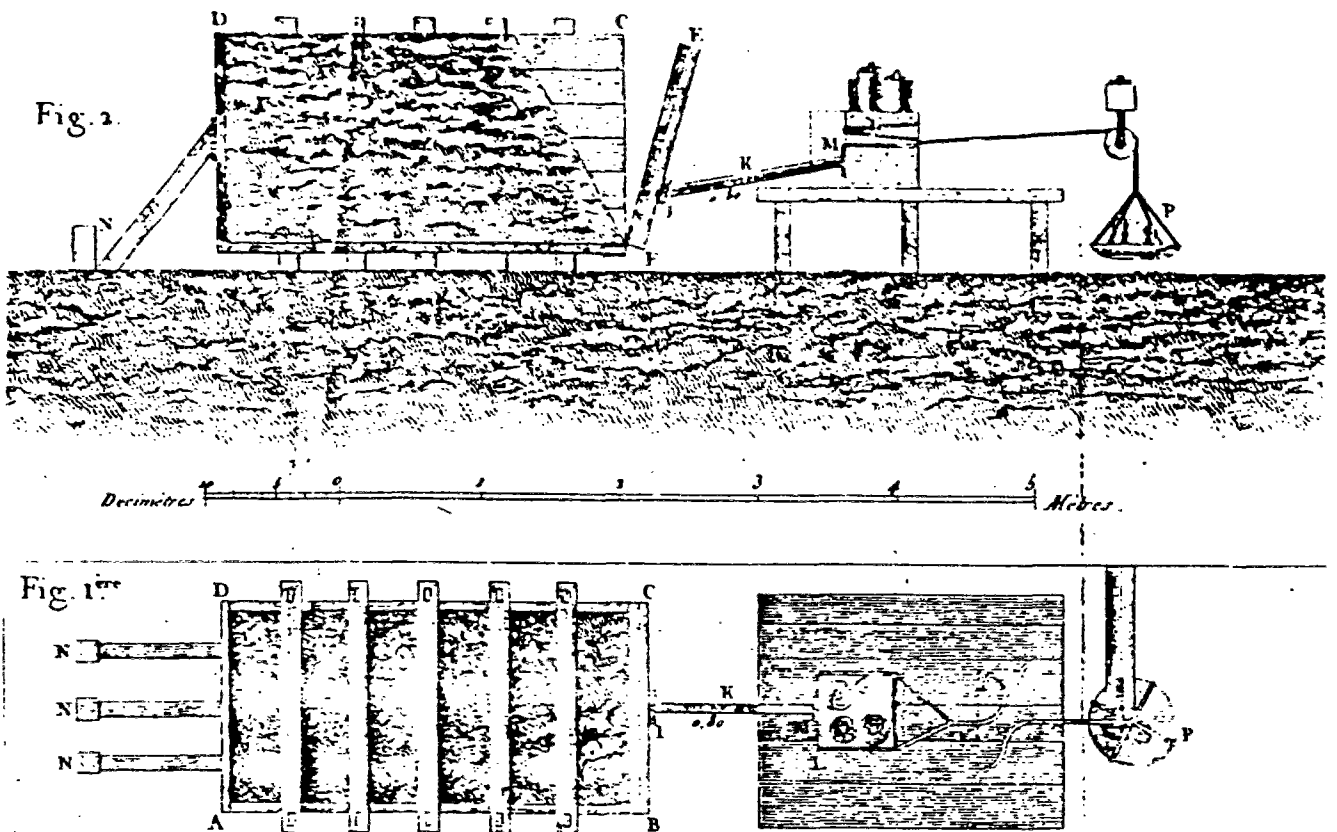


Figure 34. Instrument destiné à mesurer la poussée des terres utilisé par Mayniel en 1806 à Juliers puis Mantoue.

Mayniel s'est inspiré du procédé italien de Papacino d'Antoni et de la caisse de Gauthey dont il a augmenté les dimensions et dont il rend le bras IM plus mobile de manière à ce que "la plaque I fasse fonction d'une main qui agit contre un obstacle." Il néglige les effets de paroi qui l'induisent souvent à de trop grosses approximations. Les résultats de Mayniel, critiqués par Français en 1820, corroborent néanmoins les expériences de Rondelet sur la tenacité des matériaux : pour augmenter la résistance des terres ou des mortiers, il faut les comprimer, réduire les vides, les massiver.

D'après : MAYNIEL, *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*, Paris, 1808, pp. 10-11, fig. 1, 2.

¹. *Ibid.*, p. 36.

Par conséquent,

"les applications des formules doivent varier, non seulement comme la nature, la forme et l'assemblage des matériaux ; mais aussi comme l'époque et le mode des remblais dont dépend surtout la cohésion des terrassements et des maçonneries ; cohésion qui peut varier elle même entre deux termes, dans l'un desquels la poussée est maximale et la résistance minimale ; tandis que dans l'autre, ces forces sont aux limites opposées"¹.

Mayniel refuse la normalisation et renvoie l'ingénieur au terrain, comme Rondelet l'architecte :

"Les principes de mathématiques et de calcul appliqués d'une manière convenable peuvent bien faire connaître la stabilité, l'effort ou la résistance des parties d'un édifice, relativement à leur poids et à leur forme ; mais ils ne peuvent pas, seuls, déterminer le degré de stabilité, de force ou de résistance qui constitue la solidité de l'ensemble de ces parties, eu égard à leur position, à la manière dont elles sont construites, et au sol sur lequel elles sont établies : car en faisant abstraction de ces circonstances, on démontrerait qu'un mur isolé et d'à-plomb, pourrait être élevé à une hauteur indéfinie, quel que fût le rapport de la largeur de sa base avec cette hauteur."²

b) Le choc et le tassement

De même, la réalisation des fondations lors des grands chantiers monumentaux de l'Empire (Bourse, Madeleine, Etoile) n'est pas sans risques : les *théâtres* — appellation adoptée alors pour ces chantiers — mettent en scène les caprices du sol, alors que le tassement est toujours absent de la problématique scientifique. A tel point que pour l'architecte Charles-François Viel, la première condition à remplir pour l'établissement des fondations est "une incompressibilité absolue du sol"³. En effet,

¹. *Ibid.*, p. VI.

². RONDELET, *op. cit.*, p. 6.

³. Suivie de :

"Une largeur suffisante dans les fouilles des terres pour les constructions ordinaires ; un déblaiement complet pour les grandes constructions.

"Un niveau général et commun à tous les murs.

"Une érection régulière et conduite de front.

"Nul mélange d'anciennes et de nouvelles bâtisses.

"Un appareil simple et approprié à la nature et à l'espèce des matériaux.

"Une intelligente main d'œuvre.

"Un à-plomb exact entre les plans inférieurs et ceux supérieurs.

"Une proportion graduée dans les empatemens selon le module de l'édifice."

C. F. VIEL, *Des fondemens des bâtimens publics et particuliers*, Paris, an XII (1804), pp. 6-7.

"L'incompressibilité dans le sol [...], est commandée par l'immobilité que toutes ses parties doivent conserver. Cette condition ne peut être enfreinte impunément dans la plus légère construction ; elle exige les précautions les plus multipliées et les plus sages dans les fabriques importantes. Ainsi l'on ne se permettra point d'ériger la fondation d'une simple maison, même celle en pans de bois, sur des terres jectisses [remuées ou rapportées], quelques compactes qu'elles paroissent, parce qu'elles restent toujours soumises à des compressions inévitables : un accident causé par l'ignorance de cette loi, vient récemment de coûter la vie à plusieurs."¹

Aussi la construction des bâtiments publics — promis à la longue durée — nécessite-t-elle une reconnaissance géotechnique : "L'architecte [...] ne s'arrêtera point, dans la fouille, à quelques couches solides qu'il rencontrera, il poussera ses recherches plus avant ; [...] il fera des sondes particulières qui l'instruiront s'il n'existeroit pas des veines de terre qui soient compressibles, ou des cavités naturelles, ou artificielles, qui compromissent l'existence du monument"². Mais on ne recherche pas, comme dans le cas de la rupture, à théoriser le phénomène — la fortification doit être — mais encore une fois à substituer au mauvais sol une technique qui permette de se garantir de ses méfaits : "l'art pour les vaincre, offrira les ressources nécessaires"³, conclut Viel. On peut ainsi utiliser, à la façon d'Alberti pour les fondations des péristyles, les arcs renversés (figure 35), moyen "propre à contenir les tassements qui se manifestent trop souvent dans les bâtimens publics"⁴.

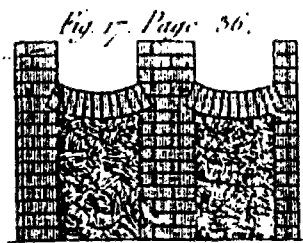


Figure 35. "Moyen proposé par Léon-Baptiste Alberti pour relier les fondemens de plusieurs points d'appui isolés, afin de diminuer les effets de la pression".
 Source : J. B. RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5, Paris, an XIII (1805), pl. LXVIII, fig. 17 et pp. 36-37.

¹. *Ibid.*, p. 7.

². *Ibid.*, p. 13.

³. *Ibid.*, loc. cit.

⁴. *Ibid.*, p. 15.

Viel est un praticien chevronné : il connaît l'hétérogénéité du sous-sol urbain. Lors de la construction du Mont-de-Piété (1784-1788), "des sondes différentes garantirent l'incompressibilité du terrain ; elles découvrirent d'anciennes fondations des murs de la ville, qui traversoient le plan des nouvelles constructions : elles étoient aussi épaisses que solides ; je les ai néanmoins démolies en totalité"¹, après que l'architecte de la ville, Moreau, en eut levé les plans "afin de conserver la trace de ces anciennes murailles de Paris."² A l'hôpital de la Pitié, on doit combler les carrières, et "le mauvais sol du pavillon est-nord, a été surmonté par la construction d'un grand arc ogif, contreventé à sa naissance par un double arc"³. Le grand égout de Bicêtre, l'hôpital Cochin, le pavillon des Enfants trouvés, le parvis de Notre-Dame échapperont aux fissures grâce aux sondages et aux travaux de consolidation du sol. Parfois il faut reprendre en sous-œuvre, comme à l'hospice de l'Allaitement où "la ruine d'une fosse d'aisance découvrit, en 1803, que la fondation étoit érigée sur un terrain mobile, construite en simple moellons sans aucun empatement, principe immédiat des déchirements de ce bâtiment."⁴

Alors que Viel demeure très proche du terrain, Rondelet essaye d'explicitier les mécanismes du tassement, et surtout de théoriser la consolidation du sol. La notion de *tassement différentiel* est chez lui essentielle : d'une part, lors de la reconnaissance du terrain,

"il faut encore s'assurer que le sol [...] est de même nature dans toute son étendue ; car souvent il change à très-peu de distance, soit parce qu'il a été fouillé, ou par d'autres circonstances. Il faudra sonder le terrain pour connaître les différentes couches [...] ; leur épaisseur et leur densité qui varient les rend susceptibles de se comprimer plus ou moins sous le fardeau."⁵

D'autre part, "dans les sols compressibles, c'est moins le tassement que son inégalité qui est dangereux."⁶

Deux méthodes peuvent être utilisées, conjointement ou séparément, afin de limiter les tassements. La première consiste à préparer le sol, la seconde à adapter les fondations de l'édifice. La préparation du sol vise à une préconsolidation : "Comme le tassement des

¹. *Ibid.*, p. 29.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 31.

⁴. *Ibid.*, p. 35.

⁵. RONDELET, *op. cit.*, p. 8.

⁶. *Ibid.*, p. 20.

terrains n'est que l'effet du rapprochement de leurs parties, par l'effet de la charge, on peut le prévenir en le battant avec un mouton, ou avec une pièce de bois ferrée par le bas, pesant environ 100 livres, soulevée par deux hommes"¹. En effet, la charge transmise par un mur de 60 pieds de haut et de 18 pouces d'épaisseur coiffé de sa toiture, compte tenu du fait que "l'épaisseur en fondation a toujours un pied de plus, [...] se réduit pour le sol des fondations à environ 6 milliers par pied superficiel : c'est à-peu-près l'effet de la pièce de bois dont nous venons de parler. Le nombre de battues doit être en raison de la résistance du terrain"².

Rondelet préfère le battage au pilotage — cet "expédient imaginé pour les pays aquatiques, tels que la Hollande, et que nous avons adopté lorsque nous avons voulu imiter leurs canaux, leurs écluses et autres ouvrages hydrauliques, sans faire attention si le sol ne permettait pas de faire usage des moyens plus solides et plus durables"³ — qu'il analyse, comme il se doit, en terme de poussée et de butée :

"le resserrement que produit d'abord ce dernier moyen [le pilotage], occasionne un frottement si considérable, qu'il s'oppose à l'enfoncement des pilots, de manière qu'ils ne cèdent plus au choc du mouton, quoiqu'ils n'aient pas atteint le bon sol. Ce resserrement soulève pour ainsi dire l'épaisseur de terre dans laquelle on enfonce les pieux en buttant contre les terres voisines ; mais ces terres venant à céder à la longue, la couche soulevée s'abaisse sous l'effort continuel de la charge, et occasionne des tassements dont on est surpris [...] : au contraire, [...] le battage d'un terrain compressible et de la maçonnerie des fondemens établis dessus, effectue d'avance le tassement dont ils sont susceptibles, et les rend assez fermes pour résister à la charge [...], sans crainte de réaction."⁴

L'adaptation des fondations quant à elle repose sur la constatation que "l'effort de la pesanteur qui cause le tassement, agit en raison inverse de l'étendue des surfaces"⁵, donc "l'étendue des fondemens doit être plutôt en raison de la charge que de l'épaisseur des murs"⁶, comme l'ont affirmé Palladio, Scamozzi, Philibert Delorme et Mansard.

¹. *Ibid.*, pp. 20-21.

². *Ibid.*, p. 21.

³. *Ibid.*, p. 59.

⁴. *Ibid.*, p. 42.

⁵. *Ibid.*, p. 20.

⁶. *Ibid.*, p. 36.

Rondelet utilise le dynamomètre de Régnier¹, garde du dépôt et archives de l'artillerie, (figure 36) afin d'évaluer l'effet de la hauteur de chute sur la force de percussion d'un corps. Pour des chutes inférieures à cinquante centimètres, les résultats sont assez disparates, mais en réalisant les expériences de mètre en mètre, ils s'accordent assez bien avec la théorie (choc proportionnel à $P \sqrt{g h}$) : la force du choc est proportionnelle au poids et à la racine carrée de la hauteur de chute. Rondelet tire de ses expériences la loi très simple :

$$C = P \sqrt{h}$$

où P est la masse du corps (en kg ou en livres) ; C la force du choc (en kg ou en livres) ; h la hauteur de chute exprimée en lignes (la relation devient $C = 21 P \sqrt{h}$ pour h en mètres).

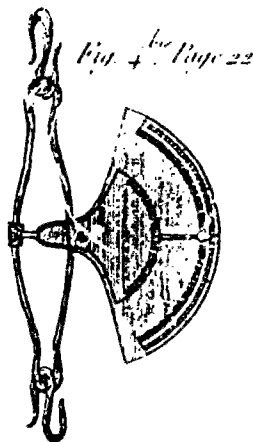


Figure 36. Dynamomètre utilisé par Rondelet afin d'évaluer "la force du choc d'un corps qui tombe de différentes hauteurs".

Rondelet procède de deux manières "qui ont donné à-peu-près les mêmes résultats" (p. 23) pour des hauteurs supérieures à quinze pieds. La première consiste à suspendre le poids à l'aide d'une ficelle tenue que l'on brûle ; le poids tombe sur un plateau relié au dynamomètre dont l'aiguille indique la force du choc ; dans la seconde le corps est suspendu à une forte ficelle attachée au dynamomètre et à une plus courte et plus fine, la différence de longueur représente la hauteur de chute lorsque l'on brûle la ficelle courte. Les expériences sont réalisées avec des boulets de fer de 9 livres $\frac{1}{2}$ (4,65 kg), 6 livres $\frac{1}{4}$ (3,06 kg), 3 livres $\frac{3}{4}$ (1,84 kg).

Source : J. B. RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5, Paris, an XIII (1805), pl. LXVIII, fig. 4bis et pp. 21-25.

¹. Conçu pour mesurer la force des hommes et des animaux. PICON, *L'invention de l'ingénieur moderne* (...), *op. cit.*, p. 63.

Tableau 21. Force (kg) du choc d'un corps tombant de différentes hauteurs.

hauteur masse	1 m	4 m	9 m	16 m
4,65 kg	94	186	280	373
	98	196	294	392
3,06 kg	61	119	182	243
	64	129	193	258
1,84 kg	37	70	108	142
	39	75	116	155

Le premier nombre indique le résultat expérimental de Rondelet, le second (en italiques) le résultat théorique avec $C = 21 P \sqrt{h}$

D'après : RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5,
Paris, an XIII (1805), pp. 23-24.

Tableau 22. Facteur multiplicatif à appliquer à la masse du corps pour trouver la force du choc en fonction de sa hauteur de chute.

Troisième table qui indique le nombre de fois que le poids doit être répété, pour exprimer la force du choc de tiers de mètre en tiers de mètre, ou de pied métrique en pied métrique.						Quatrième table qui indique le nombre de fois que le poids doit être répété, pour exprimer la force du choc de pied en pied.			
Tiers de mètre.	Pieds métr.	Force du choc.	Tiers de mètre.	Pieds métr.	Force du choc.	Pieds.	Force du choc.	Pieds.	Force du choc.
1.0	1	11.61	10.0	31	64.50	1	11.47	31	63.68
	2	16.41		32	65.53	2	16.20	32	64.70
	3	20.09		33	66.55	3	19.82	33	65.75
	4	23.19		34	67.55	4	22.90	34	66.69
	5	25.93		35	68.54	5	25.59	35	67.66
2.0	6	28.40	12.0	36	69.51	6	28.02	36	68.61
	7	30.67		37	70.47	7	30.28	37	69.56
	8	32.24		38	71.41	8	32.37	38	70.50
	9	34.77		39	72.35	9	34.53	39	71.41
	10	36.05		40	73.27	10	36.19	40	72.32
3.0	11	38.44	14.0	41	74.18	11	37.98	41	73.23
	12	40.15		42	75.07	12	39.63	42	74.12
	13	41.78		43	75.96	13	41.25	43	75.00
	14	43.56		44	76.84	14	42.80	44	75.83
	15	44.88	15.0	45	77.71	15	44.30	45	76.71
4.0	16	46.51		46	78.57	16	45.76	46	77.56
	17	47.78		47	79.43	17	47.17	47	78.40
	18	49.16		48	80.26	18	48.53	48	79.23
	19	50.51		49	81.08	19	49.86	49	80.05
	20	51.82	17.0	50	81.91	20	51.15	50	80.86
5.0	21	53.09		51	82.71	21	52.41	51	81.10
	22	54.54		52	83.52	22	53.65	52	82.46
	23	55.57		53	84.34	23	54.86	53	83.25
	24	56.76		54	85.20	24	56.03	54	84.03
	25	57.93	18.0	55	86.21	25	57.19	55	84.81
6.0	26	59.08		56	86.80	26	58.32	56	85.57
	27	60.20		57	87.46	27	59.42	57	86.33
	28	61.30		58	88.21	28	60.51	58	87.08
	29	62.39		59	88.97	29	61.60	59	87.83
	30	63.45	20.0	60	89.72	30	62.64	60	88.57

Source : RONDELET, *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5,
Paris, an XIII (1805), p. 32.

Mais "comme la résistance de l'air diminue l'effort en raison de la hauteur des chûtes"¹, ce qui est confirmé par les résultats qu'il a obtenus lors de ses expériences (tableau 21), Rondelet établit sa table qui lie hauteur de chute et facteur multiplicatif à appliquer au poids en fonction des résultats expérimentaux (tableau 22). Ainsi, "pour connaître la force de percussion d'un mouton ordinaire à battre les pieux, pesant 750 livres [367 kg], tombant de 5 pieds de haut [1,6 m], on cherchera dans la [...] table la force qui répond à une chûte de 5 pieds, qu'on trouvera exprimée par $25 \frac{59}{100}$: multipliant le poids du mouton par cette quantité, on aura 19192 [9 400 kg] pour la force de percussion que l'on cherche."²

Bien mieux, on peut faire une évaluation prévisionnelle des tassements, voire optimiser la préconsolidation du sol. En effet, considérant le poids de l'ouvrage à bâtir, on en déduit, compte tenu de l'empâtement des fondations, la pression unitaire transmise au sol. On la compare au poids du mouton et l'on va chercher dans la table la hauteur de laquelle il doit tomber pour produire la même pression que celle de la fondation projetée. "La mesure de l'enfoncement qu'il aura produit, sera celle du tassement que causerait la charge"³ de cette fondation. "D'où il résulte que l'on peut affermir un sol, en le battant avec un mouton, de manière à ce qu'il ne produise presque pas de tassement sous une charge déterminée."⁴

L'intérêt du texte de Rondelet réside dans le fait que presque tous les ingrédients y sont — la compressibilité varie avec les terrains, la transmission des charges induit un tassement différentiel, le facteur temps joue un rôle (au moins pour le pilotage), etc. — sans qu'aucune question ne soit théoriquement résolue. Malheureusement, l'approche de Rondelet est très approximative. D'une part, comme tous ses contemporains, il estime que la transmission des charges est uniforme sur toute la surface de la fondation. D'autre part, les expériences menées avec le dynamomètre sont loin d'être probantes ; "je me suis déterminé à les publier, parce que je les crois suffisantes pour l'usage ordinaire ; parce que je ne connais aucune table de ce genre, et qu'elles peuvent être d'une très-grande utilité dans l'art de bâtir"⁵, précise néanmoins Rondelet. Enfin, il identifie la percussion à la pression de longue durée, hypothèse contestable.

¹. RONDELET, *op. cit.*, p. 24.

². *Ibid.*, p. 33.

³. *Ibid.*, p. 34.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, p. 25.

Rondelet n'est pas un cas isolé : Prony est confronté au même problème dans les marais pontins qu'il parcourt en 1810 et 1811, lorsqu'il analyse les moyens de prévenir les débordements de l'Uffente, rivière qui coule dans un "sol extrêmement tourbeux"¹. Une digue contient déjà son lit, mais s'enfonce régulièrement dans le sol, ce qui la rend inopérante. Une des solutions consisterait à la charger jusqu'à obtention de la stabilité de l'ouvrage, mais Prony n'a pas l'assurance de Rondelet :

"Les résultats de sonde [...] prouvent que ce moyen est possible, mais ne peuvent pas fournir une approximation de la quantité de travail que son emploi exigerait, et nous devons dire franchement qu'il est impossible de faire d'avance une semblable appréciation. Il est bien sûr que la base de la digue ne descendra pas jusqu'à la surface du sable et gravier dont la sonde nous a prouvé l'existence ; avant ce terme, la couche de tourbe interposée aura acquis par la charge supérieure, combinée avec la pression latérale de la tourbe ambiante, une condensation qui la rendra capable d'opposer la résistance suffisante. Mais à quelle profondeur l'équilibre sera-t-il établi ? aucune solution théorique, aucune donnée expérimentale, ne peut conduire à une solution précise de ces questions."²

Par ailleurs, Prony s'intéresse à l'écoulement de l'eau dans le sol. Il reprend l'ensemble des observations et les confronte à ses études sur le marais de Rochefort où il a été affecté comme ingénieur entre 1790 et 1793. Il s'appuie sur les expériences réalisées par Coulomb en 1800³ et suppose que les eaux pluviales "comme les gouttes d'eau à travers les particules de pierre et de sable"⁴, coulent sans accélération en suivant la plus grande pente. Il frôle ainsi la formulation de la loi qu'on attribue à Darcy.

Si d'autres solutions existent pour empêcher les crues de l'Uffente — notamment son détournement —, la construction du canal de l'Ourcq ne peut s'affranchir des terres anthropiques.

c) Le canal de l'Ourcq

Alors que le siècle des Lumières prêchait pour l'adduction en eau, la période napoléonienne la met en œuvre : en 1802, le corps législatif approuve le projet du canal de

¹. PRONY, *Description hydrographique et historique des marais pontins* (...), Paris, 1822, p. 108.

². *Ibid.*, p. 351.

³. COULOMB, "Expériences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements très lents", *Mémoires de l'Institut*, III, an IX (1801), pp. 246-305.

⁴. PRONY, *Des marais pontins* (...), Paris, 1818, p. 478.

l'Ourcq qui aura une double fonction alimentation de Paris en eau et navigation et dont les travaux débutent en 1805 sous la direction de l'ingénieur des Ponts et Chaussées Pierre-Simon Girard, responsable des travaux jusqu'en 1816. Le bassin de la Villette est achevé en octobre 1808, alors que l'on construit l'aqueduc de ceinture, destiné à distribuer les eaux qui arrivent à la fontaine des Innocents en 1809. Le canal est ouvert à la navigation entre Claye et Paris en 1813.

A plusieurs reprises les procédés traditionnels de fondation sont remis en question. Près d'Ermenonville, dans la traversée des sables :

"dans la persuasion où l'on était que les terrains sablonneux devaient laisser infiltrer l'eau, on en avait disposé quelques parties pour recevoir des revêtements, en donnant plus d'étendue aux déblais ; mais [...] on a remarqué [vers 1808] que les portions formées d'une couche épaisse de sable fin tenaient parfaitement l'eau [...] et depuis lors on n'a plus revêtu plus le canal en terre franche [argile] lorsqu'il a été ouvert dans un sable fin et profond"¹,

rapporte Coïc — ingénieur des Ponts et Chaussées chargé des travaux du canal de l'Ourcq à partir de 1818². En effet, comme le remarque Girard :

"On sait [...] que si l'on verse de l'eau sur du sable, il se tasse aussitôt, et qu'il cesse de livrer passage à l'eau quand il est suffisamment mouillé. [...] Si, de plus, les eaux dont ces digues sont baignées charrient des matières terreuses, elles en entraînent les parties les plus ténues dans les interstices des grains de sable ; ces interstices sont bientôt remplis de limons, et alors toute filtration de l'eau se trouve arrêtée."³

Il en va de même pour les berges sablonneuses des canaux : si "leur imbibition occasionne une première dépense d'eau qui est souvent très considérable"⁴, une fois le tassement et le colmatage opérés, la végétation établie, le canal est parfaitement étanche : la cause est entendue pour les constructions ultérieures de canaux.

Après Sevan, dans la traversée des collines boisées bordant Saint-Denis, la tranchée prévue selon une pente uniforme — et militaire — de 45 degrés pour un déblai de 15 mètres d'épaisseur s'effondre au cours des travaux en juillet 1811, malgré les

¹. COÏC, *Mémoire sur la navigation du canal de l'Ourcq*, Paris, 1823, p. 5.

². P. S. GIRARD, "Introduction historique", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq* (...), vol. 1, Paris, 1831, p. 176.

³. GIRARD, "Note sur quelques procédés de réparation", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq* (...), vol. 1, *op. cit.*, p. 585.

⁴. *Ibid.*, p. 586.

sondages préventifs : les escarpements sont assis sur une couche d'argile à fort pendage placée entre deux sondages. Les eaux supérieures glissent et précipitent les cavaliers dans la cunette : un mort, une douzaine de blessés grièvement¹. Selon Girard, les terres sablonneuses reposant sur la glaise "étaient facilement pénétrées par les eaux ; celles-ci, arrêtées par la couche de glaise, délayaient en quelque sorte la partie inférieure du terrain qu'elles avaient traversé, et il s'affaissait en glissant sur la surface inclinée de la couche de glaise qui le soutenait."² Dans un premier temps, il double la base.;

"Mais les retroussements successifs des terres diminuent le mal sans le guérir entièrement [...]. On se décide à extraire cette glaise à la surface du talus, sur 2 ou 3 m de profondeur moyenne et les vides sont remplis de terre ordinaire ; après quoi on fait beaucoup de saignées ou pierrées à sec pour réduire et conduire dans le canal les eaux qui s'infiltrèrent de la montagne"³.

Le devis prévoyait une dépense de 500 000 francs alors que le coût de l'opération atteint 4 500 000 francs. Pourtant, "le problème du sol dans la traversée des bois de Saint-Denis est à peine résolu en 1823"⁴, souligne Coïc. Il a encore fallu enlever des terres mobiles, adoucir les pentes, creuser fossés, contre-fossés et puisards, border le canal de pieux en estacade. C'est tout le problème du comportement des argiles qui est ici posé : Girard l'a contourné en estimant que l'argile, stable, ne favorise les éboulements que par son imperméabilité, oubliant qu'imperméabilité et rétention d'eau ne sont pas incompatibles ; il s'est donc concentré sur les terres sablonneuses, considérant leur perméabilité comme responsable.

L'établissement du devis du canal est aussi l'occasion de préciser les méthodes de compactage : "Lorsque les chemins de halage auront leur partie supérieure élevée au-dessus du terrain naturel de plus d'un mètre, [ils] seront formés de couches horizontales de 15 centimètres d'épaisseur au plus, sur lesquelles les roulages seront établis successivement pour opérer, autant que possible et sans frais, le tassement de ces

¹. H. C. EMMERY, *Amélioration du sort des ouvriers dans les travaux publics*, Paris, 1837, p.12.

². GIRARD, "Mémoire sur les terrassements de la tranchée des bois de Saint-Denis, et les éboulements qui s'y sont manifestés" [1er déc. 1812], in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 1, *op. cit.*, p. 577.

³. *Rapport d'une commission spéciale d'ingénieurs du corps royal des ponts et chaussées sur la situation des travaux du canal de l'Ourcq et de ses dépendances à l'époque du 1er janvier 1816 ; et sur les dépenses qui restent à faire, à la même époque, pour terminer cette entreprise*, Paris, 1819, p. 129 (voir aussi pp. 49, 134). Cette commission avait pour but de réhabiliter le travail de Girard, accusé d'avoir englouti les fonds publics dans le canal.

⁴. COÏC, *op. cit.*, p. 8.

couches."¹ Les remblais auront une hauteur d'un cinquième supérieure à la hauteur voulue, pour tenir compte "du tassement naturel qui aura lieu."² Les précautions sont encore plus grandes quand le canal lui-même est en remblai : les couches successives doivent alors être "régalées et pilonnées avec soin"³, même si les voitures destinées au transport des terres les parcourent. Malgré ces directives, en 1812 les chemins de halage dans la traversée des marais de l'Arneuse s'affaissent "à mesure du dessèchement du sol ; on fut obligé de les exhausser en les recouvrant de terres d'une autre nature."⁴

Mais les plus épineux problèmes se rencontrent dans les terres anthropiques et par conséquent dès les abords de la ville, comme le remarque Coïc : "Le canal de l'Ourcq présente dans sa construction un cas particulier, dont on ne trouve d'exemples ni sur les autres canaux de France ni sur les canaux des pays étrangers ; entre Poincy et Varedes, on a été obligé de le faire passer dans un coteau que longe la Marne, et qui est traversé dans tous les sens par des galeries de carrières anciennement exploitées."⁵ L'enfoncement du canal sur une grande longueur oblige à consolider les carrières :

"On a alors déblayé le sol jusqu'au seuil des carrières, et l'on a muré l'entrée de toutes les galeries ; ensuite on a recombé régulièrement cette fouille, qui avait environ 12 mètres de profondeur sur 60 mètres de largeur moyenne. Dans le fond, on a jeté des terres prises à proximité, nettoyées de tous les débris de rocher ; à compter de 5 mètres au-dessous du fond de canal, on a employé des terres de choix prises au loin."⁶

On constitue ainsi un *sol artificiel* dans lequel on creuse le canal sur 900 mètres.

En outre, si pour des ouvrages ponctuels et des terres naturelles, la méthode traditionnelle du grillage suffit pour s'affranchir des terres compressibles⁷, la question se

1. GIRARD, "Devis général du canal de dérivation de l'Ourcq, depuis la prise d'eau à Mareuil jusqu'à la barrière de Pantin" [4 janv. 1806], in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 1, *op. cit.*, p. 424.

2. *Ibid.*, *loc. cit.*

3. *Ibid.*, p. 425.

4. GIRARD, "Introduction historique", *op. cit.*, p. 127.

5. COÏC, *op. cit.*, p. 9.

6. *Ibid.*, *loc. cit.*

7. GIRARD, "Devis général (...)", *op. cit.*, p. 453 ; GIRARD, "Supplément au devis général du Canal de l'Ourcq", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 1, *op. cit.*, pp. 504-505.

pose très différemment dans les sols urbains. Dès les fouilles préalables à la construction de l'aqueduc de ceinture, Girard constate que "le terrain sur lequel il doit être établi n'[est] point homogène ni de la même consistance"¹. Il propose donc d'effectuer une consolidation du sol :

"Lorsque le fond de la fouille se trouvera formé de terres rapportées pour remplir d'anciennes excavations [...], ces terres de rapport seront humectées et battues à diverses reprises, jusqu'à ce que la percussion de la batte ou du pilon ne laisse point d'empreinte à leur surface.

"On étendra ensuite au-dessus un lit de glaise de 10 centimètres d'épaisseur, lequel sera également battu et pilonné."²

Mais cette préparation s'avère insuffisante, et l'aqueduc se fissure aussi bien longitudinalement que transversalement³. En effet, entre la barrière de la Villette et la chaussée du faubourg Saint-Denis, au pied de la butte Montmartre, se trouvait autrefois une masse de gypse à faible profondeur, facile à exploiter. "Chacun en fit donc l'extraction dans sa propriété, et il ne resta de ce banc que les portions qui se trouvaient sous les chemins publics, qu'aucun riverain n'avait le droit de dégrader. Pour mettre ensuite en culture les terrains fouillés, on combla de remblais les excavations qu'on y avait faites."⁴ Le battage et le pilonnage initialement préconisés ne peuvent donner aux terres rapportées la fermeté du banc de gypse, d'où la dégradation de l'aqueduc. Il faut alors choisir un parti inverse, c'est-à-dire rendre la compressibilité du terrain uniforme — et non plus rechercher son incompressibilité — "en enlevant sous les diverses rues les bancs de plâtre qu'on y avait laissés, de manière à établir les fondations de l'aqueduc sur un sol compressible à-peu-près au même degré que le sol adjacent."⁵ Cette méthode repose bien entendu sur l'hypothèse selon laquelle la transmission des charges — donc le tassement — est uniforme dès que le terrain est homogène.

Par ailleurs, les tassements qui affectent l'aqueduc sont aggravés par la perte des eaux, dès que les fissures apparaissent : "en s'échappant, elles sillonnent, délavent et entraînent les terres du sol. Il s'y forme des cavités qui occasionnent de plus grands

¹. GIRARD, "Description générale des différens ouvrages à exécuter pour la distribution des eaux de l'Ourcq dans l'intérieur de Paris, et devis détaillé de ces ouvrages" [1810-1812], in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 2. Paris, 1843, p. 347.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Rapport d'une commission spéciale d'ingénieurs (...)*, op. cit., p. 100.

⁴. GIRARD, "Introduction historique", op. cit., p. 113.

⁵. *Ibid.*, pp. 113-114.

affaissements, au point que, dans quelques parties, la voûte de l'aqueduc s'est écroulée"¹. Comment mieux poser la question de l'action mécanique de l'eau et l'entraînement des fines, une des causes majeures de dégradation des réseaux enterrés aujourd'hui ?

Il en va de même des conduites de fonte ou de plomb. Leurs fractures ne peuvent être uniquement imputées à la dilatation du métal sous l'influence des variations de température, remarque Girard. En effet, "les chances de rupture de semblables conduites deviennent bien plus nombreuses lorsqu'elles sont posées sur un sol factice composé comme celui des rues de la plupart des grandes villes, de terres rapportées et de décombres pour l'affermissement desquelles il n'a été pris aucune précaution."² C'est à un tel sol factice, "susceptible de s'affaisser subitement en différens endroits, par des causes qui ne se manifestent pas toujours à l'extérieur"³, que l'on doit attribuer les fissures et les ruptures de la conduite de eaux de Chaillot. Deux solutions sont envisageables : l'amélioration des joints, ou, mieux, la pose des conduites en galeries, dans les égouts souterrains⁴, solution qui permet "de ne point s'exposer à des bouleversements du pavé plus ou moins fréquents, à des recherches de fuites d'eau plus ou moins infructueuses"⁵.

1. *Rapport d'une commission spéciale d'ingénieurs (...), loc. cit.*

2. GIRARD, "Mémoire sur la pose des conduites d'eau dans la ville de Paris", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 2, *op. cit.*, p. 406.

3. *Ibid.*, p. 437.

4. *Ibid.*, p. 440.

5. *Ibid.*, p. 442.

II.1.2. UNE FIGURE DE LA VILLE

Le canal de l'Ourcq est bien plus qu'un laboratoire en vraie grandeur de mécanique des sols. En effet, avant d'entreprendre la construction, il faut reconnaître le terrain afin de déterminer le tracé qui ne doit s'éloigner "de la ligne du *moindre déblai* que pour éviter la destruction de quelques établissemens ruraux qu'il paraît à propos de conserver, ou pour rendre moins bizarres et moins incommodes à la navigation quelques-unes des sinuosités auxquelles on est obligé de s'asujétir"¹, et qui doit permettre de localiser les points hauts et bas de la ville.

a) *Le plan et le zéro*

La distribution des eaux des eaux de l'Ourcq nécessite un nivellement complet de la capitale (un point à chaque intersection de rue) que Girard fait réaliser et reporter sur le plan de Verniquet², à partir des coupes réalisées par Egault³ (qui met par ailleurs "au point un niveau à lunette contrôlable et réglable dans toutes ses parties, qui sera le grand instrument du nivellement de précision du XIX^e et de la 1^{re} moitié du XX^e"⁴). Les mesures débutent en 1807 et compte tenu de l'ampleur de l'entreprise, ne sont publiées, dans un format réduit (1/28 000) qu'en 1812⁵ (figures 37 et 38) — l'original étant malheureusement introuvable.

¹. GIRARD, "Mémoire sur la destination du canal de l'Ourcq, contenant la détermination de sa pente et de ses dimensions d'après les conditions qu'il doit remplir", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq* (...), vol. 1, *op. cit.*, p. 322.

². Dressé à la fin de l'Ancien Régime par Edmé Verniquet, publié en l'an IV (72 feuilles), c'est le premier plan parcellaire de la ville de Paris.

³. GIRARD, *Recherche sur les eaux publiques de Paris, les distributions successives qui en ont été faites, et les divers projets qui ont été proposés pour en augmenter le volume*, Paris, 1812, pp. 141-144.

⁴. J. J. LEVALLOIS, *Mesurer la terre, 300 ans de géodésie française : de la toise du Châtelet au satellite*, Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1988, p. 113.

⁵. GIRARD, *Recherche sur les eaux publiques de Paris* (...), *op. cit.*

Source : P. S. GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 3, Paris, 1843, pl. XXXVII.

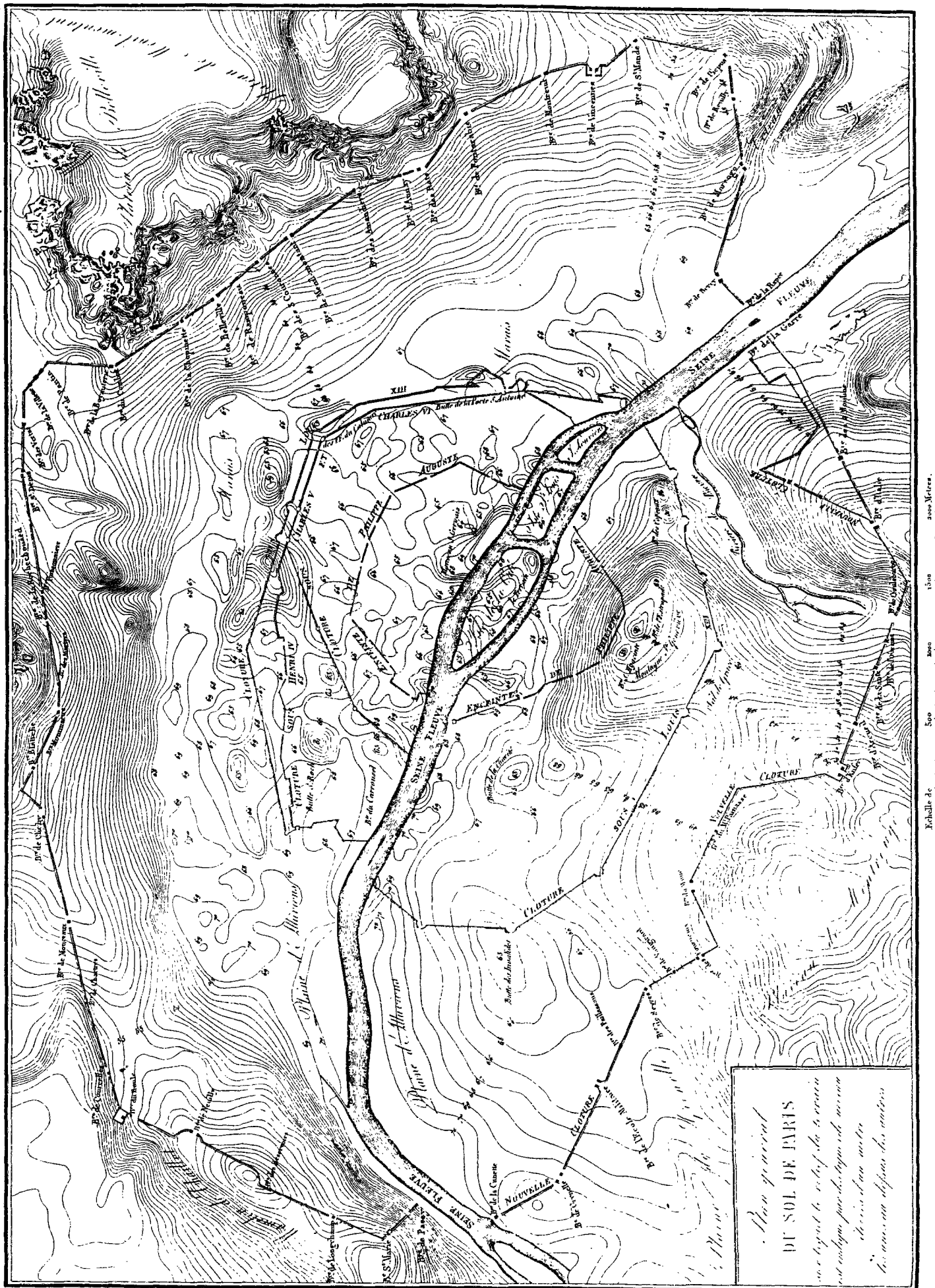


Figure 38. Nivellement de Paris représenté par les courbes de niveau (1812).

Source : P. S. GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, vol. 3, Paris, 1843, pl. XXXVIII.

Les deux cartes de Girard sont intéressantes à plus d'un titre. Comme l'a souligné Konvitz, elles montrent l'importance du plan de Verniquet pour la maîtrise de l'espace urbain et la planification de grands projets édilitaires, viaires ou hydrauliques¹.

Girard réalise en outre le premier nivellement *civil* à l'échelle d'une ville² : il y a en effet un vide entre P. Buache et Girard ; ce dernier n'est pas sans connaître les travaux de P. Buache, mais ses mesures en sont indépendantes, par souci d'exactitude. Dans l'intervalle, Patte³ et Goulet préconisent une telle réalisation :

"Je voudrais donc que le voyer fût chargé de fixer la hauteur du sol des maisons, comme il fixe leur alignement ; pourvu que cette opération se fasse en grand, d'après un nivellement général qui serait indiqué, tracé et parfaitement connu d'avance de tous ceux qui font bâtir, et non partiellement, sur des données incertaines qui dépendent souvent de la volonté particulière d'un agent, plus que d'un plan général arrêté par le Gouvernement"⁴,

nous dit ce dernier. Mais on ne rencontre dans les faits que des nivellements partiels et souvent inexacts, en raison de la faveur connue par le nivellement barométrique : fort utile pour la mesure des montagnes, il est trop imprécis pour les plaines, malgré la

¹. KONVITZ, *The urban millenium : the city building process from the early middle ages to the present*, Carbondale/Edwardsville : Southern Illinois university press, 1985, pp. 87-88.

². Fortier et Bruno Vayssière ("L'architecture des villes. Espaces, cartes et territoires", *Urbi* (3), mars 1980, pp. LIII-LXII) attribuent à la fin du XVIII^e siècle la naissance de la cartographie civile, avec la publication de la carte de Cassini (1 ligne pour 100 toises, soit 1/86 400) dont les premières feuilles paraissent en 1756, les dernières sous l'Empire, les relevés étant achevés en 1791. Mais ils lui attribuent des vertus qu'elle n'a pas : "la Carte s'est d'abord imposée comme un espace de vérité. Parce qu'elle était théoriquement exhaustive [...], parce qu'elle était irréfutable et liée à des coordonnées mathématiques, elle a été bien plus qu'un plan" (*Ibid.*, p. LV). C'est oublier que la carte de Cassini n'a et ne veut avoir aucun souci du relief (voir la lettre du Comte de Cassini fils aux Commissaires des Etats de Bretagne du 14 déc. 1784, citée par DAINVILLE, "La carte de Cassini et son intérêt géographique", réimpression [1^{ère} éd. in : *B.A.G.F.*, 1955, pp. 138-147], in : DAINVILLE, *La cartographie (...)*, op. cit., pp. 86-87), ce qui, tout comme son échelle, limite considérablement sa valeur opérationnelle. En outre, Fortier et Vayssière soulignent que "les villes ont été les premiers points d'attache de cette géographie systématique. Contre la cartographie militaire (...)" (p. LIII). Elles n'y ont en fait gagné que des représentations planimétriques — exception faite des travaux de P. Buache —, alors que les ingénieurs militaires décrivaient topographiquement les places fortes et leurs environs, comme nous l'avons dit au chapitre précédent.

³. PATTE, *Mémoires sur les objets (...)*, op. cit., p. 63.

⁴. GOULET, op. cit., Paris, 1808, pp. 16-17. Goulet semble d'ailleurs s'être fort inspiré des textes de Patte.

formulation de Laplace¹. Louis-François Ramond de Carbonnières² en était bien conscient lorsqu'il évoquait :

"la réserve qu'il faut apporter à prononcer sur de petites différences de niveau, lorsqu'on les conclut d'observations faites dans les couches inférieures de l'atmosphère et dans ces positions où l'air étant de toutes parts en contact avec la terre, subit une multitude de modifications inappréciables, qui agissent sur l'instrument à l'insu de l'observateur."³

Pourtant, Prony ne partage pas cet avis et "pense que le coefficient [...] introduit dans la formule de M. de la Place, est trop fort pour la mesure de petites hauteurs, et que l'ancien coefficient 17 972 [...], donnerait plus exactement des différences de hauteur peu considérables"⁴, il en veut pour preuve les mesures faites au Mont-Cenis⁵. Piqué au vif, Ramond, à l'origine du coefficient 18 336, fait des essais et en conclut que c'est la hauteur du Mont-Cenis, telle que mesurée par le baromètre, qui est faussée⁶. Prony reste un amateur convaincu du nivellement barométrique :

¹. Qui donne la différence de hauteur z entre les deux stations (dans le système décimal) :

$$z = 18\,336 \left(1 + 0,002845 \cos 2\psi\right) \left(1 + 0,00375 \frac{t+t'}{2}\right) \\ \left(\left(1 + \frac{z}{a}\right) \log \frac{h'}{F h} + 0,868589 \frac{z}{a}\right)$$

où ψ est la latitude du lieu, h et h' sont les hauteurs du baromètre aux stations supérieure et inférieure respectivement, t et t' les températures de l'air aux stations supérieure et inférieure respectivement, a la distance au centre de la terre de la station inférieure, $F = \left(\frac{t'_b - t_b}{5412} + 1\right)$ avec t_b et t'_b les températures du baromètre aux stations supérieure et inférieure respectivement (F traduit la dilatation du mercure).

P. S. LAPLACE, *Œuvres complètes publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences par MM. les secrétaires perpétuels*, Paris, 1878-1912, vol. IV, 1880, seconde partie, liv. X, chap. IV du *Traité de mécanique céleste* : "De la mesure des hauteurs par le baromètre". L'essor du nivellement barométrique est brièvement retracé dans l'annexe 1.

². Ecrivain, naturaliste, puis politique après la Révolution, Ramond de Carbonnières (1755-1827) entre à l'Institut en 1802. "Ramond est sans doute un savant moins important que Saussure [...] ; ses théories sont basées sur des intuitions, souvent géniales, souvent fausses." BROU, *Les montagnes (...)*, op. cit., p. 273.

³. L. F. RAMOND de CARBONNIERES, *Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique céleste et les dispositions de l'atmosphère qui en modifient les propriétés (...)*, Clermont-Ferrand, 1811, p. 46.

⁴. *Ibid.*, p. 143.

⁵. Selon Prony, il faut utiliser l'ancien coefficient pour les petites variations de niveau, le nouveau pour mesurer les hauteurs des montagnes au-dessus de la mer. PRONY, "Notice sur les travaux des ponts et Chaussées", in : *A.B.L. pour l'an 1809*, Paris, 1808, pp. 87-89.

⁶. RAMOND de CARBONNIERES, op. cit., p. 160.

"J'ai annoncé [...] que je m'occupais du nivellement géométrique et barométrique des principales hauteurs de la capitale et de ses environs, afin de connaître exactement les ressources que les ingénieurs peuvent [...] tirer du baromètre ; [...] j'ai [...] obtenu des résultats, très-précis [...]. Ces résultats fournissent des données pour la solution de plusieurs questions importantes, telles, par exemple, que celles de la déclivité de la Seine dans la traversée de Paris, et de la pente totale de ce fleuve entre Paris et la mer"¹.

Le 30. août 1809
Observations et Nivellement des ponts et
chaussées

<i>therm. de l'air</i>		<i>quantité de l'air</i>	<i>23°, 8</i>
<i>therm. du barom. B</i>			<i>22, 9</i>
<i>quantité constante</i>			<i>885, 00</i>
<i>point de repaire</i>			<i>849, 20</i>
<i>terme additionnel</i>			<i>29, 80</i>
<i>Micromètre de Fortin</i>	<i>Hauteur de la</i>	<i>731, 02</i>	<i>731, 02</i>
	<i>Colonne</i>		<i>760, 82</i>
	<i>10^h 39'</i>	<i>27. 0, 14</i>	
<i>point de repaire</i>			<i>885, 00</i>
<i>Hauteur de la colonne</i>		<i>725, 26</i>	<i>849, 38</i>
<i>à 11^h</i>		<i>26. 9, 55</i>	<i>35, 62</i>
<i>Thermomètre à l'air</i>		<i>quantité de l'air</i>	<i>25°, 6</i>

Figure 39. Extrait d'une feuille de calcul de nivellement barométrique de Prony.

Source : G. R. de PRONY, *Observations barométriques faites au Panthéon, aux Invalides, à l'Ecole des ponts et chaussées, le 30 août 1809*, Bibliothèque de l'E.N.P.C., ms 1279.

¹. PRONY, "Hauteur de l'observatoire royal de Paris, par rapport aux zéros des échelles tracées sur les ponts de cette capitale, et à d'autres ponts situés dans son enceinte. Pente de la Seine dans la traversée de Paris, etc.", in : A.B.L. pour l'an 1815, Paris, 1814, p. 152.

Cet acharnement peut paraître surprenant — d'autant plus que les résultats donnés par Ramond sont peu enthousiasmants, comme on peut le voir dans le tableau 23, et qu'en milieu urbain les mesures doivent être affectées par la transpiration de la ville qui préoccupe tant les hygiénistes — de la part de ce scientifique de haut niveau, mais Prony, grand ami de Laplace, lui doit probablement son entrée à l'Institut, donc une certaine reconnaissance ; en outre, les calculs inhérents au nivellement barométrique lui donnent l'occasion d'utiliser les tables de logarithmes établies sous sa direction¹.

Tableau 23. Comparaison des diverses méthodes de nivellement (1811).

Elévation absolue de la salle des baromètres de l'observatoire conclue du nivellement.....	78,45
La même, conclue des observations barométriques de Biot.....	75,66
La même, conclue des distances au zénith mesurées par Delambre.....	64,83
<hr/>	
Moyenne des trois observations.....	72,98 m

D'après : L. RAMOND de CARBONNIERES, *Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique céleste et les dispositions de l'atmosphère qui en modifient les propriétés (...)*, Clermont-Ferrand, 1811, p. 75.

De plus, Girard, "plus technicien que scientifique"² comme le remarque A. Guillerme, a fort bien compris l'illusion qu'il y avait à retenir pour plan de comparaison le niveau moyen des mers. Déjà utilisé par Cassini et Cassini de Thury, préconisé par P. Buache³, puis Du Carla qui ne résout cependant pas la question et propose de fixer un point de référence par bassin versant⁴, et enfin par la "commission spéciale de coordination des travaux topographiques des différents services publics"⁵ réunie en 1802 au Dépôt de la Guerre, sous la présidence du général Sanson, il demeure

¹. PRONY, *Notice sur les grandes tables logarithmiques et trigonométriques calculées au cadastre (...)*, Paris, an IX, cité par Y. CHICOTEAU, A. PICON, C. ROCHANT, "Gaspard Riche de Prony ou le génie «appliqué»", *Culture technique* (12), mars 1984, pp. 175, 183. Les auteurs, qui souhaitent réhabiliter l'œuvre de Prony, n'évoquent pas ses travaux sur le nivellement barométrique.

². A. GUILLERME, "La cervelle de la terre (...)", *op. cit.*, p. 225.

³. BUACHE, "Essai de géographie physique (...)", *op. cit.*, p. 401.

⁴. DU CARLA, *op. cit.*, chap. VII : "Du zéro".

⁵. LEVALLOIS, *op. cit.*, p. 122.

néanmoins insaisissable. Plus qu'"un petit problème irritant"¹, selon les termes de Jean-Claude Perrot, la question du choix du plan de comparaison nous semble centrale dans l'histoire des sciences et des techniques des XVIII^e et XIX^e siècles. En effet, outre les problèmes de cohabitation entre les corps des Ponts et Chaussées et du Génie, qui ont considérablement retardé les prises de décision², de l'ampleur des travaux qu'aurait nécessités le choix d'un repère unique, il nous ramène à la notion même de niveau moyen des mers, quelle que soit la méthode de nivellement adoptée. La conception théorique du globe terrestre, héritée de Newton, selon laquelle l'attraction universelle doit conduire à une surface d'équilibre, amène forcément à considérer qu'il doit exister un niveau moyen des eaux, et que les nivellements doivent s'y rapporter. Le cas du nivellement barométrique en représente l'analyse limite, puisqu'il repose justement sur l'analyse de la pression, donc de l'attraction, et peut reposer sur ce niveau d'équilibre théorique, comme le montre l'équation donnée par l'*Annuaire du bureau des longitudes pour l'an 1852*³, dans laquelle est introduite la hauteur de la station inférieure au-dessus du niveau de la mer, mais quelle mer ? De même, le *niveau moyen de la mer moyenne*, moyenne des niveaux moyens de la mer à Cancale, Brest, Cherbourg et au Havre, adopté en 1842 comme origine du nivellement de Paris⁴, traduit-il cette quête de l'équilibre (figure 40).

¹. J. C. PERROT, *Genèse d'une ville moderne : Caen au XVIII^e siècle*, Paris/La Haye : Mouton, 1975, vol. 1, p. 68.

². Sur ce thème voir : H. BERTHAUT, *La carte de France (1750-1898) : étude historique*, s. l., 1898-1899, 2 vol.

³. z, différence de niveau entre deux stations, est obtenue par la formule suivante, dérivée de celle de Laplace (avec les mêmes notations) :

$$z = 18\,336 (1 + 0,00265 \cos 2 \psi) \left(1 + \frac{t + t'}{500} \right) \left(\log \frac{h'}{F' h} \right) \left(1 + \frac{z + 15926}{6366198} + \frac{s}{3183099} \right)$$

où s est la hauteur de la station inférieure au-dessus du niveau de la mer, F' un facteur traduisant la dilatation du mercure corrigée de celle du laiton. "Tables pour calculer les hauteurs par les observations barométriques", in : *A.B.L. pour l'an 1852*, Paris, 1851, p. 242.

⁴. F. ROMANY, *Rapport de l'Ingénieur en chef chargé du service de la 3^e section de la navigation de la Seine, à l'effet d'obtenir qu'il soit procédé à l'exécution d'un nivellement de précision entre Paris et Rouen*, 20 août 1857. Archives Nationales, F¹⁴ 4562. La correspondance entre les ingénieurs responsables des services de navigation et le Ministère des travaux publics (1845-1865 environ) que l'on trouve dans ce carton montre bien la perplexité des ingénieurs quant au choix de l'origine marine de leurs nivellements. Voir aussi : BEAUNIER, "Mémoire sur la topographie extérieure et souterraine du territoire houiller de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier (département de la Loire)", *Annales des Mines* 1, 1816, pp. 8-21.

Scientifiquement séduisante, cette approche est techniquement illusoire. Peut-on y déceler un *obstacle épistémologique* tel que défini par Gaston Bachelard ? Si oui, il pourrait bien s'agir de cet obstacle des *lois générales bien placées* qui, s'"il ne fait pas de doute qu'[elles] ont été agissantes, [...] définissent des mots plus que des choses" : "la généralité immobilise la pensée, [...] les variables relatant l'aspect général portent ombre sur les variables mathématiques essentielles."¹

En outre, lorsque l'on ne recherche pas cette surface imaginaire, les nivellements sont rattachés à des origines locales des plus diverses et des plus mouvantes. Ainsi, Jérôme Lalande donne dès 1797 une "Table de différentes hauteurs"² de sommets et d'édifices, sans préciser la méthode (probablement le plus souvent barométrique donc incertaine), et par rapport à des plans divers : la flèche des Invalides est repérée par rapport au pavé (105,2 m), le sommet du Panthéon par rapport au pavé (79,2 m) et aux moyennes eaux de la Seine (108,8 m, mais quelles sont ces moyennes eaux ?), la grande salle de la méridienne de l'observatoire par rapport à la plate-forme de celui-ci (- 13,8 m), et au niveau de la mer (82 m, mais de quelle mer s'agit-il ?)³. On pourrait multiplier les exemples.

P. Buache avait bien senti le problème. Girard le résout avec pragmatisme en choisissant un plan de comparaison cohérent avec l'objet de son travail :

"On aurait pu supposer que ce plan était celui des eaux moyennes ou des basses eaux de la Seine, indiquées par l'une des échelles tracées sur les piles du pont de la Tournelle, des Tuileries ou de la Concorde ; mais parce que ce nivellement avait spécialement pour objet la distribution des eaux du canal de l'Ourcq, les cotes en ont été ramenées à la surface du bassin de la Villette lorsqu'elle est élevée d'1,50 m au dessus du plafond de ce bassin"⁴.

¹. G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*, 13e éd. [1ère éd. 1938], Paris : Librairie philosophique J. Vrin, 1986, pp. 56-57. Sans adhérer totalement à la pensée de Bachelard, il nous semble que la notion d'obstacle épistémologique s'applique particulièrement bien au cas traité.

². J. LALANDE, "Table de différentes hauteurs", in : *A.B.L. pour l'an VIII*, Paris, an VII [1799], pp. 53-55.

³. *Ibid.*, p. 55.

⁴. GIRARD, *Recherche sur les eaux publiques de Paris (...)*, *op. cit.*, p. 142. Mais, traduisant encore la vieille habitude des plans de comparaison supérieurs, qui permettent d'assimiler les altitudes aux profondeurs marines dont sont issues les courbes de niveau, la planche annexée à l'ouvrage de Girard donne les cotes à partir d'un plan de comparaison situé à 50,00 mètres au-dessus de la surface des eaux du bassin de la Villette (ce qui ne lui permet pourtant pas de n'obtenir que des cotes négatives dans Paris).

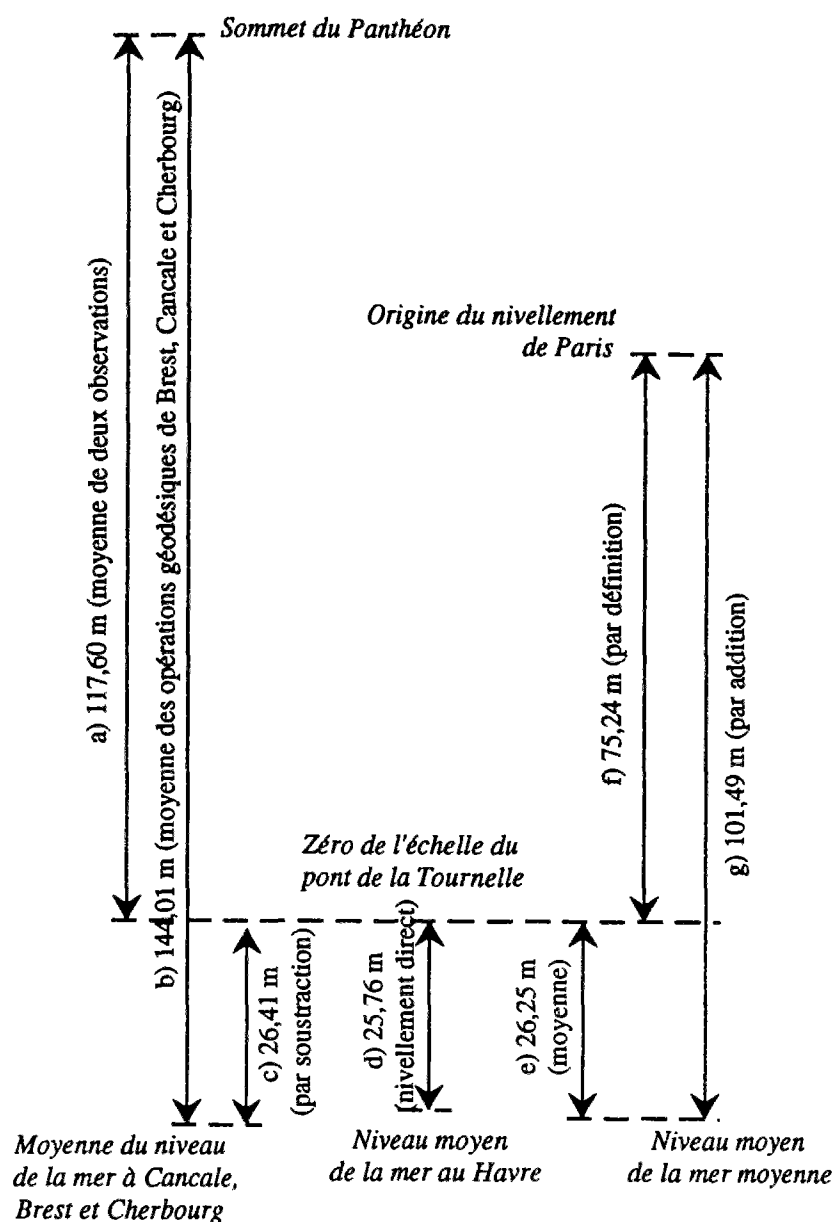


Figure 40. Méthode de calcul du niveau moyen de la mer moyenne (1842).

La commission nommée en 1839 par le préfet de la Seine est composée de F. Arago, Clapeyron, Corabœuf, Dausse, Defontaine, Jollois, Mary, Poirée, Puissant, Trémisot et Violet.

D'après : MICHAL, Lettre au sous-secrétaire d'état du ministère des travaux publics (dépôt des cartes et plans), [185.]. Archives Nationales, F¹⁴ 4562 (Nivellement général de la France, 1823-1882).

Cette origine sera d'ailleurs utilisée jusqu'à la mise en service du *zéro Bourdalouë*¹ en 1860.

Enfin, les cartes de Girard traduisent l'hésitation entre les modes de représentation : semi-perspective, lignes de plus grande pente et courbes de niveau. La première est condamnée par la commission de 1802 et rapidement abandonnée ; en outre :

"La commission se prononce en faveur des lignes de plus grande pente, dont l'effet peut être rehaussé soit par des teintes de lavis, soit par des hachures à la plume suivant la direction des pentes. Elle admet les courbes de niveau, mais elle pense que l'usage doit en être restreint aux plans de site et de défilement des places. Elle ne voit pas, d'ailleurs, le moyen de déterminer les courbes de niveau autrement que par des opérations de nivellement proprement dit. Il lui paraît très difficile de les apprécier à la simple vue, tandis que les directions des lignes de plus grande pente se jugent plus facilement."²

Ce choix n'est pas neutre : si les lignes de plus grande pente traduisent un paysage — immédiatement visualisé grâce aux hachures —, la froide et mathématique courbe de niveau est nécessaire pour régler les faibles pentes de la chaussée, des aqueducs, des canaux. Girard fait donc imprimer deux cartes, l'une avec des lignes de plus grande pente (figure 37), l'autre avec des courbes de niveau (figure 38). Il en présente le mode de réalisation et les avantages :

"et comme ces hauteurs diffèrent de quantités inégales, on a cherché entre deux intersections consécutives, en supposant la pente du terrain uniforme, un ou plusieurs points de la même rue, dont les hauteurs variaient d'une quantité constante que l'on a fixée à un mètre. Tous les points des diverses rues qui ont été trouvés à la même hauteur, ont ensuite été réunis par des lignes droites ; on a obtenu ainsi le tracé de plusieurs polygones qui représentent évidemment les intersections du sol par une suite de plans horizontaux élevés d'un mètre les uns au-dessus des autres.

"Ces polygones, plus ou moins rapprochés, suivant que les pentes sont plus ou moins rapides, indiquent à l'œil, de la manière la plus sensible et la plus rigoureusement exacte, le penchant des collines qui bordent les deux rives de la Seine, et la configuration des monticules factices dont nous avons indiqué l'origine dans l'intérieur de la ville."³

¹. Donnant comme niveau moyen de la Méditerranée le trait 0,40 m de l'échelle de marée du Fort Saint-Jean à Marseille.

². BERTHAUT, *op. cit.*, vol. 1, p. 140.

³. *Ibid.*, pp. 143-144.

Girard sera plus offensif en 1824 lorsqu'il exposera sa conception du nivellement général de la France¹. En effet, l'apport du XVIII^e siècle dans la connaissance du relief est, selon lui, insuffisant :

"si, mettant à part ce qui est essentiellement du domaine des sciences naturelles, l'on considère que les hautes montagnes du globe sont presque toujours sans habitants, tandis que la population s'est fixée le long des fleuves, et que les sièges principaux de la civilisation se trouvent établis sur les plateaux et dans les vallées, on s'aperçoit bientôt que les besoins de la vie sociale réclament moins souvent la détermination du relief des plus hautes montagnes qu'ils ne réclament la détermination de l'élévation à laquelle se trouvent placés, les uns par rapport aux autres, les lieux habités dans les plaines, soit qu'on veuille en approprier les productions au climat, soit qu'il s'agisse d'établir entre ces lieux divers des communications faciles.

"C'est donc sur le relief et la configuration des bassins auxquels les chaînes de montagnes servent de limites, qu'il importe maintenant d'appeler l'attention."²

C'est l'ingénieur et surtout l'hydraulicien qui parle, puisque l'entreprise doit commencer par la réalisation du "nivellement hydrographique"³, exécuté par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui sera complété par un "nivellement minéralogique"⁴, confié aux ingénieurs des Mines. En effet, les rivières donnent les lignes de plus grande pente des vallées, et :

"Afin de procéder avec ordre dans le nivellement des bassins d'une région quelconque, on commencera par assigner la pente de la surface du fleuve principal qui la traverse, à partir de la source de ce fleuve jusqu'à son embouchure ; et comme la hauteur de ses eaux doit varier suivant les saisons, il faudra la rapporter à la même surface de niveau à la même époque, et, s'il était possible, le même jour de l'année."⁵

On nivellera ainsi les rivières par bassins décroissants, puis on tracera des polygones d'égale hauteur d'eau d'une rivière à l'autre. Le projet pourra être mené à bien en cinq ou six ans, et les ingénieurs des Mines pourront prendre le relais : les deux systèmes de courbes seront reportés sur la carte de Cassini, dans l'attente d'une nouvelle carte de

¹. GIRARD, "Mémoire sur le nivellement général de la France et les moyens de l'exécuter", *Mémoires de l'Académie des Sciences*, t. 7, 1824, p. 447.

². *Ibid.*, p. 449.

³. *Ibid.*, p. 455.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, p. 450.

France, et en huit à dix ans, le nivellement de la France sera achevé¹. Ces *courbes de niveau hydrographiques* que doivent réaliser les ingénieurs des Ponts et Chaussées sont donc bien distinctes des courbes de niveau terrestres puisqu'elles unissent, par delà les chaînes de montagnes, les cours d'eau ; elles montrent l'impact des théories de P. Buache et sont à mettre en rapport avec la politique de canalisation lancée en 1821 pour tenter de rattraper l'Angleterre².

b) Le sol factice

Est-ce l'exhaussement séculaire de la vallée du Nil qui amène Girard à s'intéresser à celui de la ville ? Membre de l'expédition d'Egypte, Girard tente une quantification du dépôt fluvial. Mais si l'exhaussement du lit du fleuve se conçoit aisément grâce aux lois de l'hydraulique : il l'évalue à 0,126 mètre par siècle entre Eléphantine et le Caire³, celui du sol s'évalue plus difficilement : non seulement aucune loi ne le régit encore, mais aussi les paramètres à prendre en compte sont multiples (canaux, digues, etc.)⁴. Et pourtant, "sans cesse rajeunie, pour ainsi dire, par le bienfait de l'inondation, cette terre, présent du fleuve, s'avance de plus en plus dans la mer"⁵.

Si le facteur climatique prime en Egypte, c'est au contraire l'histoire — donc l'homme — qui bouleverse la topographie urbaine. Car Girard ne se contente pas de réunir des cotes ni de souligner l'hétérogénéité du sol urbain : dès 1812, dans ses *Recherches sur les eaux publiques de Paris*, il analyse le relief de la capitale, faisant la part de ce qui est naturel de ce qui est rapporté⁶. Ces considérations l'amènent à développer le thème dans deux directions. D'une part, elles lui permettent d'analyser les causes des inondations souterraines qui affectent la rive droite de Paris : "Nous avons dit que les bords de la Seine s'étant exhaussés de plus en plus, par l'effet naturel des alluvions et des dépôts de décombres, le sol de la ville se trouvait incliné vers le nord. On

¹. *Ibid.*, p. 458.

². Voir les lois de canalisation des 5 août 1821 et 14 août 1822, et, pour l'avancement des travaux, J. DUTENS, *Histoire de la navigation intérieure de la France avec une exposition des canaux à entreprendre pour en compléter le système*, Paris, 1829.

³. GIRARD, "Observations sur la vallée de l'Egypte et sur l'exhaussement séculaire du sol qui la recouvre", *M.A.R.S. de l'Institut de France*, t. II, 1817, p. 266.

⁴. *Ibid.*, p. 260.

⁵. *Ibid.*, p. 304.

⁶. GIRARD, *Recherche sur les eaux publiques de Paris (...)*, *op. cit.*, pp. 114-128.

conserva cette pente générale à la plupart des rues, lorsqu'elles furent pavées pour la première fois"¹, les eaux ruisselant vers le ruisseau de Ménilmontant. Mais,

"les rues nouvelles dont ces marais furent entrecoupés, ajoutèrent par leur élévation au-dessus du terrain de nouveaux obstacles au libre écoulement des eaux pluviales, et divisèrent ces marais en plusieurs compartiments qui auraient été exposés à des submersions périodiques, s'ils n'eussent point été exhaussés par les décharges publiques qui y ont été transposées à mesure que Paris s'est étendu de ce côté ; cet accroissement a été si rapide, qu'à l'exception des marais du faubourg Saint-Martin, et de quelques-uns que l'on voit encore le long de la rue de la Pépinière, tout l'espace compris entre la Villette et la butte Montmartre, d'un côté, et les anciens boulevards de l'autre, est aujourd'hui remblayé."²

L'augmentation du niveau de la nappe souterraine qui en résulte, comme le manque d'homogénéité et de continuité des couches qui portent le Grand-Egout, conduisent les eaux à s'infiltrer sous celui-ci selon des directions privilégiées et à inonder les caves. Le même phénomène s'est produit en 1740 : la crue proprement dite avait été suivie de deux inondations souterraines, l'une due à l'infiltration de l'eau de la Seine, l'autre à celle des eaux pluviales dans des terrains horizontalement hétérogènes ; et en 1788 après la pluviométrie anormalement élevée des années 1786 et 1787 : les bassins de Chaillot avaient alors été mis en cause ; ils sont en fait parfaitement étanches, répond Girard. Les années 1816 et 1817 ont elles aussi connu une forte pluviométrie, d'où selon Girard les inondations souterraines de 1818, les premières depuis 1788, ce qui disculpe le bassin de la Villette, en eau depuis 1808³ et par conséquent Girard, qui se défend probablement ici d'attaques de ses détracteurs, après sa disgrâce de 1816⁴. Les expériences de 1811

¹. GIRARD, *Mémoire sur les inondations souterraines auxquelles sont exposés périodiquement plusieurs quartiers de Paris*, lu à l'Académie des Sciences le 15 juin 1818, Paris, s. d., pp. 2-3.

². *Ibid.*, p. 6.

³. *Ibid.*, pp. 8-15. Si l'explication donnée par Girard est juste, la loi qu'il en déduit — selon laquelle les inondations souterraines en rive droite succèdent à deux années de pluviométrie totale supérieure à 1 200 mm, avec plus de 320 jours de pluie — est réfutée par Belgrand parce que trop simpliste. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 66.

⁴. Napoléonien, Girard a subi de plein fouet les événements politiques : nommé inspecteur divisionnaire pendant le Cent jours, il est déchu de ce titre dès la Restauration ("Discours de M. le Baron Charles Dupin, président de l'Académie des Sciences, prononcé aux funérailles de M. Girard, le 3 décembre 1836", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq (...)*, *op. cit.*, vol. 2, p. vj). Girard expose ses démêlés avec le pouvoir dans son "Introduction historique" (*op. cit.*, p. 161 sq. notamment) aux *Mémoires sur le canal de l'Ourcq*.

montrent d'ailleurs que le bassin ne perd que 17 litres par seconde, pour une capacité de 73 500 m³ : 3 cm par jour, pour 1,50 m de hauteur d'eau¹.

D'autre part, Girard se lance dans une analyse toujours plus complète de l'exhaussement urbain, que l'on trouve dans ses papiers archivés à la Bibliothèque historique de la ville de Paris. Le manuscrit est non daté mais postérieur à 1829, et malheureusement incomplet ou inachevé : ces *Recherches topographiques et historiques sur l'emplacement de la ville de Paris, le relief du sol sur lequel elle est bâtie, et les changements successifs que ce relief a éprouvés*² s'arrêtent au IX^e siècle... Après avoir succinctement décrit "la vallée de la Seine telle qu'elle existe aujourd'hui dans l'emplacement de Paris et à ses abords"³, et les causes naturelles qui ont modifié sa surface⁴, il aborde l'évolution topographique, depuis la conquête des Gaules. Girard ne s'arrête pas là : une lecture attentive des historiens de Paris l'amène à prendre position sur l'histoire de la capitale.

Ainsi, analysant la description de la bataille de Labiénus, localisée sur la rive gauche depuis de la Mare⁵, et à partir de l'étude de la topographie du site, Girard propose un nouveau scénario pour cet épisode qui déchaîne les passions depuis que l'on fait l'histoire de Paris, le principal écueil résidant dans le fait que César décrit la bataille dans la *Guerre des Gaules* sans y avoir pris part, d'où un certain flou dans son récit⁶.

Le travail de Girard porte pour beaucoup sur les voiries ; si au Bas Empire et au haut Moyen Age,

"Les cultivateurs des environs venaient probablement de temps en temps enlever de ces dépôts tout ce qui pouvait servir d'engrais à leurs champs [...] le reste de ces matières forma à la longue, par leur accumulation, des mamelons factices dont la hauteur au-dessus du sol s'accrut de plus en plus."

.....

"Le nivellement général de [...] Paris était donc une opération indispensable pour assigner la position et l'étendue de ces dépôts de décombres."⁷

1. GIRARD, "Introduction historique", *op. cit.*, pp. 121-122.

2. GIRARD, *Recherches topographiques et historiques sur l'emplacement de la ville de Paris, le relief du sol sur lequel elle est bâtie, et les changements successifs que ce relief a éprouvés*. B.H.V.P., ms 21.

3. *Ibid.*, pp. 1-4.

4. *Ibid.*, pp. 5-18.

5. *Ibid.*, p. 28.

6. La question n'est toujours pas tranchée et aujourd'hui encore deux interprétations subsistent. D. MOREL, "La bataille de Lutèce (-52)", in : *Lutèce ; Paris de César à Clovis*, Paris : Société des amis du musée Carnavalet, 1984, p. 77.

7. GIRARD, *Recherches topographiques (...)*, *op. cit.*, p. 51.

Encore une fois, Girard propose une nouvelle interprétation de l'histoire urbaine, à propos du *Terrain*, ou *Motte aux Papelards*, voirie située à la pointe aval de l'île de la Cité¹ :

"Les historiens [...] ne font remonter l'origine de ce dépôt qu'au temps où l'église actuelle de Notre Dame fut érigée. Ils prétendent qu'il s'est formé de l'accumulation des décombres provenant de la démolition de l'ancienne Cathédrale [...]. Il est cependant incontestable que, du moment qu'on a remplacé les premières habitations de la cité par des constructions nouvelles, il a fallu se débarrasser des matériaux inutiles provenant de la démolition des anciennes, en transportant ces matériaux sur quelques points où leur accumulation ne pouvait guère gêner la circulation sur la voie publique, et comme aucun endroit de l'intérieur de l'île ne remplissait mieux cette condition que l'emplacement où l'on a continué de les transporter pendant longtemps. On est suffisamment fondé de croire que l'existence de cette voirie remonte aux premières années de l'occupation de Lutèce par les Romains."²

En outre, la localisation des voiries lui permet de situer les enceintes du haut Moyen Age : les premières sont nécessairement localisées juste derrière les secondes puisque la densification *intra muros* les rejetait hors de la ville, mais le plus près possible de celle-ci "afin de rendre le transport des matières qu'on y déposait plus facile et moins dispendieux pour les habitants"³. Ainsi, on peut encadrer par des bornes sûres la position des enceintes : "Les édifices religieux que l'on voulut mettre à l'abri des profanations auxquelles l'invasion des Barbares les eut exposées, formaient en dedans l'une de ces limites, l'autre au dehors passait par le pied des anciennes voiries dont on retrouve encore aujourd'hui les emplacements."⁴

Sur la crue de février 583, décrite par Grégoire de Tours — "La Seine et la Marne grossirent à tel point, qu'entre la ville et la basilique de Saint-Laurent, il arriva plusieurs naufrages"⁵ — Girard tranche la question de la localisation de ces naufrages. En effet, la ville désignant la rive droite et la basilique Saint-Laurent étant elle aussi située sur cette rive, il ne peut s'agir que de l'ancien bras de Seine "où les bateaux pouvaient être remisés, qu'ils pouvaient parcourir librement où même dans lequel ils pouvaient être

¹. Aujourd'hui réunie à cette île. TISSERAND, *op. cit.*, pp. 113-114.

². GIRARD, *Recherches topographiques (...)*, *op. cit.*, pp. 54-55.

³. *Ibid.*, p. 52.

⁴. *Ibid.*, p. 62.

⁵. *Ibid.*, p. 65.

entraînés avec violence par une débâcle des glaces ; accident probable au mois de février"¹. En se référant aussi à Grégoire de Tours, Dion écrit : "près de l'église Saint-Laurent, bâtie au bas de la pente douce qui descend du col [de la Chapelle], il fallait prévoir [...] un passage en barque, quand les grandes crues de la Seine noyaient les parties les plus basses de la plaine submersible"², ce qui corrobore l'analyse de Girard.

Il ne s'agit pas selon nous d'une simple œuvre d'érudition de la part d'un ingénieur versé dans l'histoire locale et l'archéologie : la démarche de Girard constitue un tout où passé et présent s'appuient mutuellement. Malheureusement ces visions resteront lettre morte.

¹. *Ibid.*, pp. 66-67.

². R. DION, "Le site de Paris dans ses rapports avec le développement de la ville", in : *Paris, croissance d'une capitale*, Paris : Hachette, 1961, p. 23.

II.2. RENONCEMENT

II.2.1. LA MÉDECINE DANS LA TOURMENTE

Avec Lavoisier et Fourcroy, l'identification de deux gaz mortels mais fort différents — la moffète ou gaz azote et l'air fixe — permet de distinguer deux sources elles-aussi différentes de méphitisme. Lorsqu'en 1782 Janin voulait démontrer la nature alkalescente du "gas méphitique des Fosses d'aisance"¹, il ne faisait pas la distinction : "Plus la population a augmenté, plus les foyers d'infection se sont multipliés : les besoins de l'homme l'obligent de les renfermer dans sa propre habitation ; il résulte de-là, que de tous les points de la surface d'une ville, il s'élève dans l'atmosphère des miasmes méphitiques"². D'ailleurs n'introduisait-il pas son texte en affirmant de la chimie : "Cependant nous ne pouvons nous dissimuler que malgré la vaste carrière qu'elle a parcouru, il lui reste beaucoup à faire pour arriver au nec plus ultrà."³ — doute déjà émis par Duhamel du Monceau et qui demeurera ? Le vinaigre était donc son remède universel. Janin n'est pas un cas isolé, nous avons eu l'occasion d'évoquer les similitudes entre les différentes formes de méphitisme lorsque nous avons évoqué les marais (§ I.1.1, d).

Il faut cependant signaler que Janin a été contré par l'Académie des Sciences qui nomme le duc de la Rochefoucault, Macquer, Le Roy, Lavoisier et Fougereux de Bondaroy pour examiner son projet. Suite à la démonstration de Janin, Fougereux de Bondaroy souligne l'"insuffisance du moyen"⁴. En effet, "la vapeur du vinaigre en évaporation masque & surmonte l'odeur de la vidange"⁵, mais n'arrête pas pour autant le méphitisme : un ouvrier perd la vie lors de l'expérience. Hallé quant à lui reproche à Janin l'insuffisance de ses expériences, sa confusion entre odeur et nocivité⁶, etc. Hallé se situe à la charnière entre un méphitisme mystérieux — "Quelle est donc la cause & la nature du Méphitisme ? Est-il dû toujours aux mêmes causes ? Et celui qui est connu sous la dénomination de plomb dans les fosses d'aisances, dépend-il ou non d'une espèce particulière de vapeurs ? D'où vient la mitte ? Est-elle aussi le produit d'une vapeur

¹. JANIN, *op. cit.*, p. 7.

². *Ibid.*, p. 8.

³. *Ibid.*, p. viij.

⁴. FOUGEROUX de BONDAROY, "Sur un moyen proposé pour détruire le méphitisme des fosses d'aisance", *M.A.R.S.*, 1782, p. 198.

⁵. *Ibid.*, p. 201.

⁶. HALLÉ, *Recherches sur la nature et les effets du méphitisme des fosses d'aisance*, Paris, 1785, p. 2 sq.

particulière aux fosses d'aisances ?"¹ — et un phénomène chimiquement maîtrisé — "Tous les fluides aëriiformes non respirables, le gaz inflammable, le gaz crayeux, qui le premier a été nommé gaz méphitique, les autres gaz acides, le gaz alkalin, le gaz hépatique, sont tous décidément méphitiques."² Alors que Fourcroy, traitant du gaz azote — "la vapeur la plus dangereuse des fosses d'aisance, des citernes, des égoûts, celle que les ouvriers appellent le plomb, a pour base le gaz azote"³ —, affirme :

"la base de ce fluide élastique est un des principes des matières animales [...] ; elles indiquent que ce principe est une des causes de la différence qui existe entre ces matières & les substances végétales ; [...] il est permis de soupçonner, d'après ces faits réunis, que le caractère qui distingue le produit du corps des animaux de ceux des végétaux, consiste dans la combinaison de l'azote, & dans sa fixation opérée par le travail de la vie"⁴.

Mais alors que se débrouille l'écheveau de la chimie, le miasme demeure insaisissable : le gaz explique l'asphyxie, mais ne dit rien de l'épidémie. En fait, il nous semble que l'oubli du sol, plus que la preuve du triomphe de l'air, est celle d'un renoncement, d'une impuissance, d'un obstacle épistémique.

En 1785, Lavoisier terminait son mémoire en annonçant ses travaux futurs qui devaient traiter de toutes les altérations de l'air, outre celles dues à la respiration ; il concluait :

"Il me restera à considérer, dans une troisième partie, l'air de l'atmosphère, non pas comme un fluide élastique susceptible de se décomposer, mais comme un agent chimique qui peut se charger par voie de dissolution, & même d'une sorte de division mécanique, de miasmes d'une infinité d'espèces. On est effrayé quand on pense que, dans une assemblée nombreuse, l'air que chaque individu respire a passé & repassé un grand nombre de fois, soit en tout, soit en partie, par le poumon de tous les assistants : il s'y est chargé d'exhalaisons plus ou moins putrides ; mais de quelle nature sont ces émanations ?"⁵

1. *Ibid.*, p. 73.

2. *Ibid.*, pp. 74-75. Le plomb est identifié en 1805-1806 par Chaussier, Thénard et Dupuytren à l'action du sulfhydrate d'ammoniaque. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, pp. 296, 299.

3. FOURCROY, "Recherches pour servir à l'histoire du gaz azote ou de la mofète, comme principe des matières animales", *M.S.R.M.*, 1786, p. 352.

4. *Ibid.*, p. 353.

5. LAVOISIER, "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air (...)", *op. cit.*, p. 581.

L'histoire ne lui a pas laissé le temps nécessaire, aussi Guyton de Morveau reprenait-il quelques années plus tard la même interrogation inquiète : "Quelle est la nature de ces corpuscules invisibles qui ont, comme les êtres organisés, le pouvoir de se reproduire, de s'assimiler tout ce qu'ils touchent, qui semblent prendre vie pour propager la mort ?"¹ En effet,

"il faut distinguer :

"1°. L'air qui donne la mort, ou plutôt qui cesse d'entretenir la vie, parce qu'il est privé ou trop appauvri de cet élément.

"2°. L'air nuisible, parce qu'il est surchargé d'acide carbonique ou d'hydrogène carboné.

"3°. L'air rendu odorant ou fétide par des émanations."²

Si "les deux premiers sont suffisamment connus"³, le troisième l'est beaucoup moins, et c'est par l'odeur que Guyton de Morveau l'aborde, affirmant "qu'il n'y a point de principe particulier auquel on puisse attribuer exclusivement cette propriété ; qu'elle appartient à toute substance qui se trouve portée ou dissoute dans l'air, et que les corpuscules odorans agissent par eux-mêmes sur nos organes."⁴ Finalement, Guyton de Morveau reste chimiste, et s'il préconise un puissant moyen de désinfection : l'*acide muriatique*, i. e. l'acide chlorhydrique, il ne peut expliquer la contagion qu'il prétend arrêter.

L'existence et le rôle de micro-organismes pathogènes — on nous pardonnera l'emploi de ce terme — est pressentie dès le XVI^e siècle⁵, mais cette interprétation médicale n'aura de portée opérationnelle qu'avec Pasteur. En effet, ni l'inoculation — on ne contracte la variole qu'une fois : que ce soit d'une manière volontaire et lorsqu'elle est bénigne et l'on sera préservé des attaques ultérieures de la maladie — pratique ancienne importée d'Orient au début du XVIII^e siècle, mais semble-t-il déjà connue en Europe en

¹. L. B. GUYTON DE MORVEAU, *Traité des moyens de désinfecter l'air, de prévenir la contagion, et d'en arrêter les progrès*, Paris, an IX-1801, pp. x-xj.

². *Ibid.*, pp. 81-82.

³. *Ibid.*, p. 82.

⁴. *Ibid.*, p. 85.

⁵. Par Girolamo Fracastor et ses *seminaria* (*De contagione et contagionis morbis et curatione*, 1546), mais "mais "il est difficile — voire impossible — d'établir indubitablement le fait que Fracastor ait réellement entrevu, comme certains voudraient le croire, l'existence des microbes" (B. ZANOBIO, art. "Fracastor", in : C. C. GILLIPSIE (ed.), *Dictionary of scientific biography*, vol. 5, New York : Charles Scribner's sons, 1972), et plus tard par Kircher (*Scrutinium physicum-medicum*, Rome, 1658).

milieu rural¹, ni la vaccine, due au médecin anglais Edward Jenner, n'ont de fondements théoriques sûrs² : c'est une rumeur populaire selon laquelle les laitiers atteints de la petite vérole des vaches (*cowpox*) ne contractent jamais la variole qui suggère à Jenner d'inoculer le *cowpox* à l'homme, ce qu'il fait pour la première fois le 14 mai 1796. "Mais, comme le souligne Pierre Darmon, personne ne veut prendre au sérieux cette panacée de colportage encore mal décrottée de ses ascendances paysannes"³, et Jenner publie lui-même ses résultats⁴. En outre, "s'il faut chercher dans la controverse sur la contagion des «précurseurs» de la science médicale moderne, on ne les trouvera pas tous du même côté"⁵, remarque Ehrard. La notion de germe, évoquée par exemple pour la peste du gros bétail demeure vague et attachée à celle de *vapeurs pestilentielles*⁶ : "le principe, le germe contagieux de cette épizootie existe avec toute sa force dans les corps des bêtes auxquelles elle a été communiquée : il y conserve toute sa malignité depuis l'instant de la communication [...] : il reste adhérent au poil des bêtes guéries plus ou moins long-temps"⁷, il est présent dans les excréments, dans les exhalaisons qui en émanent, comme dans celles qui sourdent des corps infectés.

¹. P. DARMON, *La longue traque de la variole : les pionniers de la médecine préventive*, Paris : Librairie académique Perrin, 1986, pp. 75-76.

². Mais permettant des avancées théoriques dans le domaine des mathématiques : l'inoculation "a donné à Daniel Bernoulli [...] le thème des premiers calculs du risque médical, novateurs dans l'histoire du calcul des probabilités et de l'analyse mathématique des conduites humaines." (SALOMON-BAYET, "Penser la révolution pastorienne", in : SALOMON-BAYET (ed.), *op. cit.*, p. 56) Les travaux de Bernoulli sont d'ailleurs à l'origine, dans les années 1760, d'une vive polémique avec d'Alembert qui, bien que partisan de l'inoculation, montre que l'analyse statistique ne lui est pas favorable, d'où les violentes réactions d'autres défenseurs de cette pratique, notamment Diderot. En effet, d'Alembert "fut apparemment piqué au vif par l'approche de Bernoulli, et ne résista pas à la tentation de lui opposer une attitude visant à une véritable rigueur". M. PATY, "D'Alembert et les probabilités", in : R. RASHED (ed.), *Sciences à l'époque de la révolution française : recherches historiques*, Paris : Librairie scientifique et technique Albert Blanchard, 1988, p. 220.

³. DARMON, *op. cit.*, p. 157. D'autant plus que l'inoculation n'est pas sans risque (*Ibid.*, pp. 84-85).

⁴. E. JENNER, *An inquiry into the causes of variolæ vaccinæ. A disease discovered in some of the western countries of England*, Londres, 1798.

⁵. EHRARD, "La peste (...)", *op. cit.*, p. 56.

⁶. BERG, "Mémoire qui a remporté le prix proposé en 1776 sur les questions suivantes : 1°. Déterminer, par une description exacte des symptômes, à quel genre de maladie on doit rapporter l'épizootie de 1774, 1775 & 1776, dans la Flandre, l'Ardresis, le Calaisis, le Boulonnois & l'Artois ? (...)", *M.S.R.M.*, 1777-1778, p. 622.

⁷. *Ibid.*, p. 621.

Ce renoncement est manifeste dans l'ouvrage de Monfalcon, publié en 1824. Après avoir exposé les méfaits de ces marais — "Une race d'hommes dégénérés habite auprès de ces foyers toujours vivans de maladies meurtrières : elle est peu connue, et cependant tout en elle appelle l'attention du législateur et du médecin"¹ ; "des eaux fangeuses souillent dans les deux mondes d'immenses régions ; elles condamnent, en France, quinze à dix-huit cent mille arpens de terres utiles, à une stérilité complète. Quelle perte pour l'agriculture !" ² —, il s'essaye à une typologie des émanations : "Les eaux stagnantes dégagent des particules qu'on a appelées indifféremment des noms d'effluves, miasmes, émanations, exhalaisons, tandis que l'on qualifiait leur mode d'action sur l'organisme, tantôt d'infection, tantôt de contagion. Ces mots ne sont pas synonymes à beaucoup près."³ Lui distingue :

- les *émanations miasmatiques*, "résultat d'un travail morbide"⁴, les miasmes étant les "particules qui s'exhalent du corps de l'homme affecté de maladies"⁵ ;
- les *émanations putrides* qui "sont dégagées par des substances animales privées de vie"⁶ ;
- les *émanations marécageuses* (ou *effluves*) :

"des particules extrêmement ténues, dissoutes dans la vapeur d'eau, ayant l'air pour véhicule, ordinairement invisibles, mais quelquefois aperçues médiatement au-dessus des marais, sous forme de brume ou de nuages, souvent inodores, quelquefois d'une odeur désagréable, presque toujours insipides, qui se dégagent plus ou moins abondamment dans l'atmosphère, suivant la nature des eaux stagnantes, de l'air et de la température"⁷.

Ainsi,

"Un marais existe, il appartient aux sciences médicales à deux titres principaux : 1°. ses eaux ordinairement fangeuses sont stagnantes ; de là l'évaporation habituelle d'une grande quantité de liquide, surtout dans les temps chauds ; 2°. elles contiennent une quantité considérable de

¹. MONFALCON, *op. cit.*, p. 1.

². *Ibid.*, p. 4.

³. *Ibid.*, p. 14.

⁴. *Ibid.*, p. 15.

⁵. *Ibid.*, p. 14.

⁶. *Ibid.*, p. 15.

⁷. *Ibid.*, *loc. cit.*

substances organiques, ordinairement végétales, mais quelquefois végétales et animales, qui s'y décomposent, et donnent à leurs émanations un caractère spécial."¹

Quelle est la nature exacte de ces émanations ? Monfalcon, après avoir condamné le système des animalcules puis celui des iatro-chimistes, aborde en détail celui des gaz. Il rapporte les observations d'Alexandre Volta au lac Majeur, qui permirent d'identifier l'"air inflammable, ou natif des marais"² (le méthane), concluant : "en dernière analyse, le gaz que les marais dégagent est l'hydrogène carburé [...] est-il la cause des maladies qu'on observe aux environs des marais ? n'est-il autre chose que les émanations marécageuses ?"³ La réponse est négative : "Il se peut qu'il soit pour quelque chose dans la composition des émanations des eaux stagnantes, bien que le fait ne soit pas prouvé ; mais assurément ces particules ont d'autres éléments."⁴ D'où une violente diatribe contre la chimie et ses expériences :

"Le seul service qu'elles ont rendu aux sciences médicales, c'est de constater l'insuffisance complète de nos moyens actuels d'analyse, pour saisir, isoler et étudier les émanations marécageuses ; c'est d'apprendre qu'on ne sait rien, exactement rien sur la manière d'être et d'agir des exhalaisons des eaux stagnantes. [...]

"[...] Que d'analyses des solides et des liquides des animaux ont été faites depuis la régénération de la chimie ! La physiologie y a-t-elle gagné ? [...] non, sans doute, la nature morte n'apprend rien sur la nature vivante, et aucun des secrets de la vie n'a été découvert dans le creuset des chimistes."⁵

Mais ce qui est plus important, c'est que Monfalcon n'a rien à proposer à la place de cette chimie médicalement déficiente. Sa seule conviction réside dans la distinction des différentes émanations :

"Un médecin physiologiste ne croira jamais à l'identité des gaz qui s'exhalent du corps de l'homme malade avec celles des émanations d'un cadavre en pleine putréfaction : l'odorat seul le garantit de cette méprise. [...] Les émanations qui sont exhalées du corps d'un individu affecté du typhus, de la fièvre jaune, d'une gastroentérite particulièrement intense, de la peste, ne saurait être

¹. *Ibid.*, p. 18.

². *Ibid.*, p. 70.

³. *Ibid.*, p. 74.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, pp. 80-81.

de la même nature que celles des eaux stagnantes. La physiologie et le raisonnement repoussent cette idée."¹

Il est impossible d'aller au-delà du terme générique : "Les émanations marécageuses tenues en dissolution dans la vapeur d'eau que l'atmosphère contient, sont déposées sur les parties nues de la peau et des membranes muqueuses, reçues avec l'air par les poumons, et enfin introduites avec les aliments et l'air dans les voies gastriques."² Le médecin n'a d'ailleurs rien à apprendre de la connaissance approfondie des effluves, puisqu'il ne s'intéresse qu'à leurs effets sur le corps humain.

La période révolutionnaire n'a pas épargné la médecine, comme le montre Léonard : "Profitant de la bousculade intellectuelle qui ébranle les vieilles barrières, s'esquissent des rapprochements pluridisciplinaires. Aux yeux des pharmaciens, des hygiénistes, des physiologistes même, la physique et la chimie font figure de phares."³ Et il y a certainement dans le discours de Monfalcon un règlement de compte avec cette chimie omniprésente et envahissante ; le médecin voit sa crédibilité scientifique remise en question et n'entend pas se laisser détrôner : que la chimie s'intéresse à l'univers abiotique ou à la mort, mais qu'elle laisse à la médecine le soin du vivant. Médecine cependant impuissante face à certaines manifestations de la nature : on ne peut que penser, en lisant Monfalcon, à Sénac. Pourtant, huit décennies les séparent.

Aussi verrons-nous la confusion du XIX^e siècle en ce qui concerne l'épidémiologie en général et la biologie du sol en particulier.

1. *Ibid.*, p. 85.

2. *Ibid.*, p. 97.

3. LÉONARD, *op. cit.*, p. 26.

II.2.2. UN PARADOXE

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, le recyclage des déchets nécessite une séparation des eaux usées et des déchets solides : il ne remet donc pas en cause le principe de la vidange, tout au plus tente-t-il de l'adapter en fixant les modalités de construction des fosses d'aisances — "Qu'un bon mur de moëllon revêtu d'argille appuie un second mur intérieur ; que celui-ci soit porté sur des pièces de bois de chêne ; qu'il soit en moëllon tendre, que l'on observe s'enduire en peu de temps d'une croûte qui les rend difficilement perméables à la vanne ; que le sol de la fosse soit glaisé, & par-dessus la glaise, pavé à chaux & à ciment."¹ —, ou en les remplaçant par des récipients mobiles, dans les deux cas c'est l'étanchéité qui est recherchée — on admet en effet que jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, les quatre cinquièmes des eaux-vannes se perdent dans le sous-sol —, afin d'éviter la corruption du sous-sol qui est crainte à plus d'un titre : insalubrité des rez-de-chaussée, contamination des eaux des puits, minage des fondations ;

"La vanne [...] ne s'infiltré donc pas impunément dans les terres, puisqu'elle corrompt & perd quelquefois pour toujours l'eau des puits, qu'elle ruine les fondations des édifices, qu'elle en augmente le méphitisme, ce qui les rend plus malsains. Mais les ravages de cette vanne sont bien plus considérables, si elle est près d'un égout mal construit & peu cimenté. Une fois qu'elle est mêlée avec l'eau de ce dernier, elle s'insinue plus facilement dans les terres qu'elle détrempe ; le sol sur lequel portent les maisons est moins ferme, & toutes les couches supérieures des terrains dans les environs, de même que les couches inférieures de l'atmosphère, sont bien plus méphitisées."²

En effet, la terre transpire et respire et si la vanne corrompt les puits, elle peut aussi s'exhaler dans la fosse : "telle fosse dont les vidangeurs n'avoient point eu à se plaindre, devient très-malfaisante au moment qu'ils la quittent, & cela par la rentrée d'une portion de vanne qui, par son séjour dans les terres adjacentes où elle avoit filtré, se trouve avoir pris un caractère singulièrement méphitique."³ C'est pourquoi Janin préconise pour la construction des fosses d'élever "un parement en bon moëlon dans toutes les parois latérales de votre fosse, en laissant entre ces parements & la terre un pied & demi de vuide"⁴.

¹. LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER, *op. cit.*, p. 19.

². GERAUD, *op. cit.*, p. 42.

³. LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER, *op. cit.*, p. 18.

⁴. JANIN, *op. cit.*, p. 64.

Dans son *Avis sur les moyens de diminuer l'insalubrité des habitations qui ont été exposées aux inondations*, Cadet de Vaux écrit :

"Les eaux, en se retirant des maisons, y laissent une humidité visqueuse, grasse au toucher, qui bientôt engendre la moisissure.

"Cette humidité attire, à la surface des murs, l'humidité de leur intérieur, & il importe d'intercepter cette communication.

"Elle devient en outre conductrice du méphitisme inhérent au sol, méphitisme très-actif, dans la saison du printemps, & qui tend alors à s'échapper du sein de la terre."¹

Plus tard (an IX), préconisant la peinture au lait pour la "démiphitisation des murs pénétrés de miasmes"², il est encore plus affirmatif :

"Là où les hommes, soit en santé, soit en maladie, forment réunion, les murs se pénètrent et se trouvent insensiblement surchargés d'exhalaisons infectes que, dans les mouvements atmosphériques, ces mêmes murs réexhalent ; il y a vraiment aspiration et expiration. Les courants d'air, qu'on a soin d'entretenir, balayent bien l'atmosphère ; mais ils n'entraînent pas les miasmes recelés dans la porosité des murs, et qu'y retient l'humidité infecte de la respiration des corps qui va se condensant à leur surface."³

C'est là que le bât blesse : cette terre vivante, qui transpire, respire et expire, elle ne tient sa richesse que de ces processus biologiques. Or, c'est à ces *décompositions révoltantes*⁴ qu'elle doit aussi sa nocivité, d'où la contradiction majeure entre salubrité de la ville et rentabilisation des cycles trophiques qui se fera jour au siècle suivant.

"la boue est produite par la terre, le sable qu'on laisse entre les pavés, les ordures, les immondices, qu'on jette, qu'on dépose et qu'on laisse si mal-à-propos séjourner dans les rues ; par les eaux croupies, par les voitures mêmes qui sont employées à enlever ces immondices, et qui les éparpillent de tous côtés, ainsi que chacun en est journellement témoin ; elle est produite aussi par la fiente des chevaux et des autres animaux"⁵,

¹. CADET de VAUX, *Avis sur les moyens de diminuer l'insalubrité des habitations qui ont été exposées aux inondations*, Paris, 1784, p. 7.

². CADET de VAUX, *Moyen de prévenir et de détruire le méphitisme des murs*, Paris, an IX, p. 4.

³. *Ibid.*, loc. cit.

⁴. DEHORNE, *op. cit.*, p. 10.

⁵. P. CHAUVET, *Essai sur la propreté de Paris*, Paris, 1797, pp. 25-26.

nous dit Pierre Chauvet, qui pense "qu'en général la propreté est une économie"¹. Mais si, comme il le suggère, les déchets étaient récoltés immédiatement, la boue ne perdrait-elle pas sa valeur ?

¹. *Ibid.*, p. 6.

CHAPITRE III : LE SOL EN CHANTIER (XIXE SIECLE)

Aux idées des Lumières va succéder un XIXe siècle à la fois opérationnel et pragmatique, en ce qui concerne la gestion du sol urbain s'entend. La révolution industrielle, à la fois moyen et cause, amène les profonds bouleversements de l'espace urbain que nous connaissons : moyen parce que les matériaux et les procédés de construction évoluent, touchant au premier chef la peau de la ville, directement avec le bitume et la chaux hydraulique ou indirectement avec l'industrialisation de la fabrication des tuyaux, la réduction des coûts de construction des ouvrages enterrés ; cause parce que la ville grandit et se densifie, les communications se développent : il faut construire et encore une fois analyser le comportement des terres pour les fondations, réaliser des chaussées durables, aptes à supporter le roulage.

On est loin du méphitisme général. Pourtant, après le renoncement du tournant du siècle, médecins et hygiénistes reprennent leur longue quête du pathogène, parfois selon le modèle de leurs pères spirituels, parfois différemment en appliquant la mathématique à leur discipline, avec plus ou moins de bonheur. Mais, malgré leur présence près des pouvoirs¹, ils n'ont pas toujours voix au chapitre. En effet, le pouvoir des ingénieurs des Ponts et Chaussées se renforce en milieu urbain ; ils sont maîtres de l'assise technique qu'ils tentent d'y instaurer.

En conséquence, l'espace urbain, à l'image des disciplines, se morcelle. On assiste ainsi à une nette distinction entre couche de surface, siège d'une putréfaction que l'on ne peut plus exploiter et que l'on va donc revêtir, et sous-sol proprement dit que l'on peut vicier à loisir, ce que l'on fera avec les puits d'absorption, modèle qui rappelle curieusement la démarche actuelle : la pollution des sols préoccupe — à juste titre mais non sans une certaine ambiguïté —, alors que les couches profondes sont considérées comme les lieux idéaux du rejet encombrant et nocif². De même, l'imperméabilisation, l'adduction en eau, le tout-à-l'égout, rejettent certaines préoccupations vers les franges urbaines : dépérissement des arbres de la forêt de Bondy, paludisme dans les localités

¹. LÉONARD, *op. cit.*, 4e partie : "Les chemins du pouvoir" [1814-1870].

². Malgré le principe de réversibilité, prôné par les écologistes, selon lequel le déchet ne doit être enfoui qu'à condition de pouvoir être récupéré au cas où l'on trouverait une méthode de traitement.

voisines de la voirie de Bondy et des champs d'épandage de Gennevilliers, et parallèlement, tentative de démontrer l'innocuité des productions d'un sol irrigué par les eaux usées.

Ainsi, si l'on propose une loi décrivant l'écoulement de l'eau dans le sol — loi qui faisait cruellement défaut —, si l'on identifie le microgerme, oublie-t-on d'un même élan la richesse organique et historique du sol. Il est d'ailleurs révélateur que les ingénieurs comme Girard ou Alexandre Collin et dans une moindre mesure Henry Darcy, qui ont joué un rôle non négligeable dans l'essor du génie civil et de la mécanique des sols en particulier, aient précisément eu une réelle culture historique. Dès la fin de la Monarchie de Juillet, les grands travaux édilitaires amènent à créer un poste d'inspecteur des fouilles de la ville de Paris : l'archéologie parisienne du deuxième XIXe siècle sera le fait d'un seul homme, Théodore Vacquer, conservateur adjoint du musée Carnavalet, qui sillonnera Paris de 1844 à 1899, la Commission du Vieux Paris n'étant instituée qu'en 1897.

III.1. DU MÉPHITISME À LA STATISTIQUE MÉDICALE

III.1.1. GRANDES ÉPIDÉMIES

La peste d'Egypte, le choléra venu d'Inde, relancent les polémiques concernant la nature épidémique ou endémique — *i. e.* attachée au lieu — et les causes premières de ces maladies. Pour Hamont, fondateur et directeur de l'école de médecine vétérinaire d'Abou-Zabel, l'explication est relativement simple : la peste siège en basse Egypte, où "elle se montre toujours à l'époque où le blé est en épis."¹ En effet, les cadavres y sont enterrés trop superficiellement et "les villages sont presque tous entourés d'eaux stagnantes, beaucoup sont voisins de grands marais"². L'Egypte souffre, et ce n'est pas tant par ses dispositions naturelles que par une dégradation des conditions de vie ; ainsi, la *cachexie aqueuse* :

"moissonne chaque année un grand nombre de fellahs et de moutons, parce que l'Arabe et ces derniers animaux se trouvent, en Egypte, sous l'influence de causes morbifiques semblables. Les troupeaux dépérissent, parce que l'homme aussi végète dans la plus hideuse misère. [...] parce que le plus beau sol de l'univers est devenu pour eux, dans les mains des barbares, un foyer de putréfaction, et le séjour de la famine."³

Etienne Pariset, secrétaire perpétuel de l'Académie Royale de Médecine depuis 1822⁴, fait une analyse similaire lorsqu'il s'interroge sur les raisons de la pratique de l'embaumement. En effet, il est logiquement amené à examiner les déséquilibres du milieu qui conditionnent l'apparition de la peste : à l'origine, des marais, aux eaux "prisonnières, tranquilles, fangeuses, corrompues, mortes ; faites tomber, sur tant d'objets divers, à travers les épaisses vapeurs qui s'en élèvent, ces torrents de feu qu'épanche un soleil

¹. HAMONT, "Deuxième lettre adressée à M. Leuret, sur les causes de la peste, en Egypte", *A.H.P.M.L.*, t. 4, 1830, p. 226.

². *Ibid.*, p. 227.

³. "Note de lecture : *De la cachexie aqueuse de l'homme et du mouton, observée en Egypte*, par MM. Hamont (...) ; et Zeb Fischer, (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, p. 237.

⁴. L'Académie Royale de Médecine est créée en 1820 pour mettre un terme aux querelles qui règnent entre les multiples sociétés de médecine nées de la Révolution. LECUYER, *op. cit.*, pp. 92-94. En 1844, Pariset fondera, avec Charles Dumont, la société protectrice des animaux. LEONARD, *op. cit.*, p. 182.

ardent. Quels foyers d'émanations pestilentielles ! Quel vaste repaire d'animaux immondes et dangereux !"1 C'est cette terre que l'ancien Egyptien va conquérir :

"mais pour s'en rendre maître [...], il faut la délivrer de cette bourre de végétation grossière et parasite ; il faut sur-tout l'arracher aux animaux, c'est-à-dire, aux êtres sacrés qu'il honore de son culte. [...] Il ne les brûlera point ; car à ses yeux, le feu est une bête féroce [...] ; il ne les écrasera point dans la fange ; car leurs débris putréfiés rendraient inhabitable et mortelle cette fange desséchée, et devenue terre solide"2,

d'où le recours à la momification, seule garante de salubrité. L'introduction du christianisme, en en proscrivant la pratique, va bouleverser ce fragile équilibre. La putréfaction gagne le sol ; or, "on a vu de la pourriture sans que la peste ait suivi, mais on n'a jamais vu de peste sans que la pourriture ait précédé"3. Au Caire ces conditions sont dégradées à l'extrême : "aujourd'hui et depuis des siècles, ce sol est profondément infecté d'éléments putrescibles, et toujours prêts à s'échapper sous forme de vapeurs."4 Et c'est dans cette Egypte qui "par elle-même est [...] très salubre"5, où les seules maladies d'origine naturelle sont les dysenteries et les ophtalmies, que se trouve :

"l'unique foyer de peste qui soit au monde, c'est le Delta : parce que nulle part, dans le monde, vous ne rencontrerez ce que vous rencontrez dans le Delta : une terre étendue, égale, unie, chaude, humide, et saturée de matière animale. Or, l'homme ne peut rien sur la chaleur ; il ne peut presque rien sur l'humidité ; mais il peut tout sur la matière animale ; et cette matière soustraite, la peste est anéantie pour jamais."6

Ainsi le mépris des conditions locales est-il source de ravages ; mais cet avis n'est pas partagé par tous : "la civilisation seule a détruit la peste en Europe, seule elle la détruira en Orient"7, écrit le médecin Aubert. Quant à Clot-Bey, médecin, ancien

1. E. PARiset, "Mémoire sur les causes de la peste, et sur les moyens de la détruire", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, p. 253.

2. *Ibid.*, p. 254.

3. *Ibid.*, p. 277.

4. *Ibid.*, p. 297.

5. *Ibid.*, p. 285.

6. *Ibid.*, p. 302.

7. AUBERT, *De la peste ou typhus d'Orient, documens et observations recueillis pendant les années 1834 à 1838, en Egypte, en Arabie, sur la mer Rouge, en Abyssinie, à Smyrne et à Constantinople ; suivi d'un essai sur le Hachich, et son emploi dans le traitement de la peste*, Paris, 1840, cité par E. LISLE,

.../...

responsable du service de santé militaire en Egypte, il soutient que "la peste est une affection endémique dans tout l'Orient, ne se répandant *jamais*, ni par contagion, ni par *infection*, se développant uniquement sous l'influence des causes qui l'ont produites, et disparaissant avec elles."¹ Causes qui se résument à "des *circonstances météorologiques*, des *conditions atmosphériques*, qu'il désigne sous le nom de *constitution pestilentielle*."² Hamont, qui analyse l'ouvrage de Clot-Bey, sort de ses gonds : "l'opinion qu'il émet sur la cause du mal est insoutenable et dangereuse."³

Mais la peste demeure lointaine alors que le choléra s'approche de l'Europe. Curieusement, peut-être délibérément, les *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, si elles rapportent les correspondances relatives à l'arrivée de la maladie dans diverses villes étrangères⁴, deviennent quasiment muettes dès que ce "fléau de type médiéval, dans le décor d'un siècle que progrès et «lumières» avaient privé du sens de l'Apocalypse"⁵, entre en France, ce qui n'est pas sans rappeler les polémiques autour de l'explosion de la centrale nucléaire de Tchernobyl et du SIDA⁶. Quoi qu'il en soit, les causes et les modes de propagation de la maladie placent les médecins dans la confusion la plus totale, comme le montre Jacques Piquemal⁷. Si l'analyse du médecin Horn demeure classique : à Berlin, où il fait irruption le 31 août 1831,

"Note de lecture *De la peste ou typhus d'Orient* (...) ; par M. Aubert (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, p. 230.

¹. HAMONT, "Note de lecture : *De la peste observée en Egypte* ; par M. Clot-Bey (Paris, 1840, 439 p.)", *A.H.P.M.L.*, t. 27, 1842, p. 455.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, p. 473.

⁴. A Varsovie, on apprend que "Dans les palatinats, elle [l'épidémie] a été au contraire très forte, et a principalement sévi sur les juifs, qu'on pourrait appeler la *matière première* des épidémies", en raison de la "malpropreté de ces malheureux." "Extrait d'une lettre écrite par M. Brière de Boismont à M. Esquirol, au sujet du choléra-morbus", Varsovie, 23 juin 1831, *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 214-215.

⁵. J. PIQUEMAL, "Le choléra de 1832 en France et la pensée médicale", *Thalès*, t. 10, 1959, p. 28.

⁶. "Deux phrases semblables sont prononcées à l'Académie de médecine : «même si le choléra était contagieux, le devoir serait de le taire» (1849) ; «si la phthisie est contagieuse, il faut le dire tout bas» (1867). On a peur que l'opinion vacille sous le choc de ces révélations", remarque Léonard, *op. cit.*, p. 159.

⁷. PIQUEMAL, *op. cit.*, p. 29 sq. Voir aussi : P. BOURDELAIS, J. Y. RAULOT, *Histoire du choléra en France: une peur bleue (1832 et 1854)*, Paris : Payot, 1987.

"la majeure partie des cas de cholera a eu lieu dans des rues obscures, presque inaccessibles au rayons du soleil et aux vents ; dans des habitations basses, humides, qui souvent étaient encombrées, et sur-tout dans celles qui sont situées immédiatement au bord de l'eau ou près de l'eau, tandis que les habitations spacieuses et propres sont restées garanties de la maladie"¹ ;

Leuret n'arrive pas à trancher la question, et une longue discussion le laisse indécis : "En résumé, la cause du choléra-morbus existe dans l'Inde ; cette cause paraît liée aux changements atmosphériques, à la nature du sol, aux émanations marécageuses et putrides ; mais elle peut se développer indépendamment de ces circonstances, et sans que nous puissions dire sous quelles conditions"², conclut-il. En effet, si le choléra s'apparente à d'autres épidémies, il ne semble pas suivre le schéma habituel, attaquant même les lieux élevés :

"C'est un phénomène, sans exemple peut-être, que cette propagation d'une maladie contagieuse dans les hautes couches de l'atmosphère.

.....

"Au contraire des épidémies, qui, dépendant de la chaleur, de l'humidité, des exhalaisons des marais, paraissent à des époques fixes, elle se manifeste dans toutes les saisons"³,

rapporte l'économiste Moreau de Jonnés — on peut être hygiéniste sans être médecin — pour le Conseil Supérieur de Santé de Paris. Pourtant, Jean-Gabriel-Victor de Moléon, bien embarrassé pour conclure et synthétiser sa collection d'articles relatifs au choléra, mais partisan du caractère contagieux de la maladie, affirme : "Le froid de l'hiver la fait cesser entièrement ou l'endort"⁴, mais il faut compter avec les îlots de chaleur locaux : "il est prouvé par l'exemple de la Russie que son germe peut conserver son activité par l'effet d'une température artificielle, telle que celle qui est produite par les poêles, les fourrures, etc."⁵

¹. "Extrait d'une lettre de Berlin, en date du 5 octobre 1831, écrite par le professeur Horn à un de ses amis, à Paris, communiqué par M. Marc", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, p. 475.

². LEURET, "Mémoire sur l'épidémie, désignée sous le nom de cholera-morbus qui a ravagé l'Inde et qui règne dans une partie de l'Europe", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, p. 373.

³. MOREAU de JONNÈS, "Caractères et phénomènes du choléra-morbus pestilentiel", in : J. G. V. de MOLEON, *Du Choléra-Morbus (...), extrait des meilleurs ouvrages publiés sur cette matière*, Paris, 1831, pp. 24-25.

⁴. MOLEON, *op. cit.*, p. 125.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

Pour les uns, comme pour Horn, "le cholera se propage *difficilement par contagion*, même parmi les personnes qui [...] s'exposent, en communiquant avec les cholériques, à une contagion immédiate"¹ ; pour d'autres, la transmission par contact est exclue, ce que démontre Hamont : "une portion d'estomac du soldat mort [...], a été inoculée sur un cheval et sur un chien ; aucun effet n'est résulté de cette inoculation."² Quel est alors "ce germe morbifique qui se reproduit dans le corps humain"³ ? On s'essaye à des théories audacieuses :

"Je pense qu'il existe un miasme cholérique dû à des êtres organiques vivans et invisibles, lesquels, suspendus dans l'air, sont chariés çà et là comme les accidentelles ou périodiques émigrations des sauterelles, et que l'atmosphère, agitée par les vents, contribue à les transporter et même à les faire outrepasser des grandes distances. Ces atomes [...] peuvent se multiplier partout où il se trouve des circonstances qui favorisent leur production"⁴ ;

écrit le médecin génois Mojon. Son commentateur anonyme dans les *A.H.P.M.L.* n'est pas de cet avis : "je n'admettrai leur existence que lorsque cette existence sera prouvée. J'ajouterai que si M. Mojon eût appliqué son esprit et employé son temps à des recherches positives, il eût fait un ouvrage d'utilité pratique, bien préférable, selon moi, à un ouvrage ingénieux."⁵

La statistique va être appelée en renfort : après la tempête, on compte les morts et on essaye d'établir des corrélations qui pourraient permettre de remonter aux causes, même s'il ne s'agit que des causes secondes. Des commissions de salubrité sont instituées dans le département de la Seine dès le 20 août 1831⁶ ; l'aide aux malades est précédée d'un travail de terrain préventif qui consiste à éliminer au plus vite les causes d'insalubrité :

¹. "Extrait d'une lettre de Berlin (...), écrite par le professeur Horn (...)", *loc. cit.*

². HAMONT, "Lettre adressée à M. Leuret, sur le Cholera-Morbus en Afrique", Abouzabel, 25 août 1831, *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, p. 214.

³. MOREAU de JONNÈS, *op. cit.*, p. 28.

⁴. MOJON, *Conjectures sur la nature du miasme producteur du choléra asiatique*, traduit de l'italien par Julia de Fontenelle, Paris, 1832, cité dans "Note de lecture : *Conjectures sur la nature du miasme producteur du choléra asiatique* ; par M. MOJON (...)", (faux titre), *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 236-237.

⁵. "Note de lecture : *Conjectures sur la nature du miasme producteur du choléra asiatique* (...)", *op. cit.*, p. 237.

⁶. *Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine, année 1832*, Paris, 1834, pièce A.

dans le quartier du Luxembourg, on ferme la voirie des Fourneaux, et "c'est sans doute à cette suppression que le chemin de ronde de la barrière des Fourneaux fut plus tard redevable de ne pas compter un seul décès du choléra"¹, on somme les propriétaires de paver les rues, d'évacuer les immondices qui les jonchent : "les rues Jean-Bart et Duguay-Trouin n'ont pas eu dans la suite une seule victime"². Enfin, ces commissions se livrent à observation minutieuse, où tout est mis en relation : sexe, âge, durée de la maladie, étage habité, direction et salubrité des rues, etc. Au vu des résultats dans le quartier du Luxembourg, Boulay de la Meurthe conclut que :

"La cause première est dans l'air. Les faits recueillis l'indiquent. La mortalité était plus grande quand la température était plus variable. Elle a frappé surtout ceux dont la profession les condamne à subir l'action continue de l'air extérieur. Elle a été plus meurtrière partout où l'air pouvait davantage s'amasser, s'épaissir et se corrompre, dans les rues mal ventilées, dans les étages inférieurs, dans les logemens placés sous les combles. Quelle est cette cause première ? On l'ignore encore ; c'est à une plus exacte analyse de l'air, c'est à de nouveaux progrès de la chimie à nous l'apprendre.

"La cause secondaire, c'est l'insalubrité partout où elle se rencontre, dans les personnes, sur la voie publique, dans les habitations, dans les matières qu'emploient certaines professions ; c'est tout ce qui constitue un foyer d'infection, tout ce qui est de nature à corrompre l'air. [...]

"La cause que nous appelons *tertiaire* est celle qui tient à l'affaiblissement de la personne"³.

Plus complexe est le cas du faubourg Saint-Denis : "Considéré hygiéniquement, le quartier [...] peut se diviser en deux régions [...] : une dite supérieure comprise entre le mur d'enceinte et la rue Saint-Laurent, une inférieure qui de cette rue s'étend jusqu'au boulevard Saint-Denis."⁴ La première est peu dense, les maisons y sont basses et les jardins nombreux, l'écoulement des eaux y est favorisé par la pente du terrain, mais sa population est très pauvre ; la seconde présente des caractéristiques rigoureusement inverses, or la mortalité y a été plus faible (tableau 24) : "Ces faits viennent donc confirmer les recherches de M. le docteur Villermé, et prouver que la mortalité n'est point ainsi que l'ont avancé beaucoup d'écrivains, en raison directe de la densité de la

¹. H. G. BOULAY de la MEURTHE, *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg, ou précis des travaux de la commission sanitaire et du bureau de secours de ce quartier, suivi de documents statistiques sur les ravages que le choléra y a exercés*, Paris, août 1832, p. 17.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, pp. 112-113.

⁴. F. M. MOREAU, *Histoire statistique du choléra-morbus dans le quartier du faubourg Saint-Denis (...)*, Paris, 1833, p. 5.

population, mais bien de l'indigence de cette population."¹ Cependant si l'on considère la salubrité des rues (tableau 25), le résultat penche bien évidemment, comme dans le cas du quartier du Luxembourg — mais dans celui-ci insalubrité rime avec indigence —, en faveur des rues salubres, qui ne sont pas habitées par les plus aisés.

Tableau 24. Décès dus au choléra de 1832, quartier du faubourg Saint-Denis.

Fbg Saint-Denis	population	malades	décès	taux*
région supérieure	7 556	342	145	52,11
région inférieure	9 242	322	154	60,01
total	16 798	664	299	55,99

* 1 décès pour x habitants

D'après : F. M. MOREAU, *Histoire statistique du choléra-morbus dans le quartier du faubourg Saint-Denis (...)*, Paris, 1833, p. 36.

Tableau 25. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de la salubrité des rues, quartiers du Luxembourg et du faubourg Saint-Denis.

rues	Luxembourg				Faubourg Saint-Denis		
	nombre	population	décès	taux*	population	décès	taux*
salubres	51	12 404	171	72,5	14 129	243	58,14
insalubres	16	8 458	235	36	2 669	56	47,66

* 1 décès pour x habitants

D'après : H. G. BOULAY de la MEURTHE, *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg*, (...), Paris, août 1832, p. 93 ; F. M. MOREAU, *Histoire statistique du choléra-morbus dans le quartier du faubourg Saint-Denis (...)*, Paris, 1833, p. 39.

Par ailleurs, si dans le quartier du Luxembourg, les pics de mortalité s'observent pour les étages les plus bas et les plus élevés (les rez-de-chaussée se distinguant néanmoins par leur nocivité), ce qui permet à Boulay de la Meurthe d'incriminer le confinement de l'air seul, elle diminue avec l'élévation des appartements dans le faubourg Saint-Denis (tableau 26). "Ainsi plus l'habitation se rapproche du sol, est exposée à

¹. *Ibid.*, p. 37.

l'humidité, est privée d'air et de soleil, et plus la mortalité s'accroît"¹, conclut le médecin Moreau (qui penche d'ailleurs pour une transmission de la maladie par infection et non par contagion).

Tableau 26. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de l'étage habité,
quartiers du Luxembourg et du faubourg Saint-Denis.

Quartier	Luxembourg			Faubourg Saint-Denis		
	population	décès	taux*	population	décès	taux*
Rez-de-chaussée	3 098	53	58	2 398	41	58,49
1er étage	4 704	72	65,33	4 239	71	59,70
2e étage	4 116	59	69,76	3 808	58	65,65
3e étage	3 969	55	72	2 726	34	80,18
4e étage	3 087	35	87	1 989	26	76,50
5e et 6e étages	1 888	29	65	1 638	19	86,21
Total partiel**	20 862	303	68,85	16 798	249	67,46
Total réel	20 862	406	51,38	16 798	299	56,18

* 1 décès pour x habitants

** Décès pour lesquels on dispose des renseignements nécessaires. De ce fait, le rapport du nombre de décès sur le nombre d'habitants, considéré isolément, n'annonce rien ; seule la comparaison de ces rapports peut être de quelque utilité.

D'après : H. G. BOULAY de la MEURTHE, *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg*, (...), Paris, août 1832, p. 89 ; F. M. MOREAU, *Histoire statistique du choléra-morbus dans le quartier du faubourg Saint-Denis* (...), Paris, 1833, p. 46.

Indigence ou insalubrité ? La commission² qui fait le bilan pour le département de la Seine, quant à elle, tranche et "malgré les exemples contraires observés dans quelques localités, persiste à compter principalement tout ce qui contribue à la salubrité publique, à rendre les rues plus propres, les maisons plus saines, l'existence de leurs habitants meilleure"³, comme des garanties contre l'épidémie.

¹. *Ibid.*, p. 47.

². Composée de A. Chevallier, Devaux, Millot, Parent-Duchâtelet, Petit, Pontonnier, Trébuchet, Villermé, Villot et Benoiston de Châteauneuf (rapporteur).

³. *Rapport sur la marche et les effets du choléra-morbus* (...), *op. cit.*, p. 190. Même exemple contraire à Bruxelles, où l'on distingue la ville haute, saine et aérée, de la ville basse insalubre, "siège habituel : 1° de fièvres intermittentes, qui sont, en quelque sorte, endémiques sur le cours de la Siane et le voisinage des canaux ; 2° de maladies scrofuleuses, rachitiques, qui s'y trouvent en assez grand nombre, et qui résultent autant de l'insalubrité des habitations des classes ouvrières, sur lesquelles elle sévit de

.../...

Il est vrai que si le bilan est lourd : 18 402 morts à Paris, soit un décès pour 43 habitants, 21 514 morts pour l'ensemble du département de la Seine de mars à septembre 1832¹, il ne se compare pas aux épidémies des siècles précédents².

Tableau 27. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de l'orientation des rues et de la classe sociale.
quartier du Luxembourg.

Quartier du Luxembourg	orientation des rues		situation sociale	
	nord-sud	est-ouest	au-dessus du besoin	indigente
population	10 156	10 706	13 330	7 532
décès	189	217	152	254
taux*	53,74	49,34**	87,70	29,66

* 1 décès pour x habitants

** Boulay de la Meurthe ne s'explique pas cette différence, mais il est significatif qu'il ait pensé à l'établir.

D'après : H. G. BOULAY de la MEURTHER, *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg*, (...), Paris, août 1832, pp. 91, 101-102.

préférence, que de l'influence humide particulière à la ville basse ; 3° de phtisie pulmonaire [...]. Toutefois, il est à remarquer que, lors des épidémies de typhus et de choléra, la ville haute y a été tout aussi exposée que la ville basse." A. CHEVALLIER, "Assainissement des villes", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, pp. 290-291.

¹. *Ibid.*, p. 3.

². A titre d'exemple, en 1779 la seule dysenterie fait 175 000 morts (répertoriés) en France. DELUMEAU, LEQUIN, *op. cit.*, p. 322.

III.1.2. STATISTIQUE MÉDICALE

C'est que la statistique a donné une nouvelle jeunesse aux constitutions médicales ; grâce à elle, il suffit — même si ce n'est pas toujours facile — de disposer de quelques séries compatibles pour rechercher ces corrélations soupçonnées depuis Hippocrate :

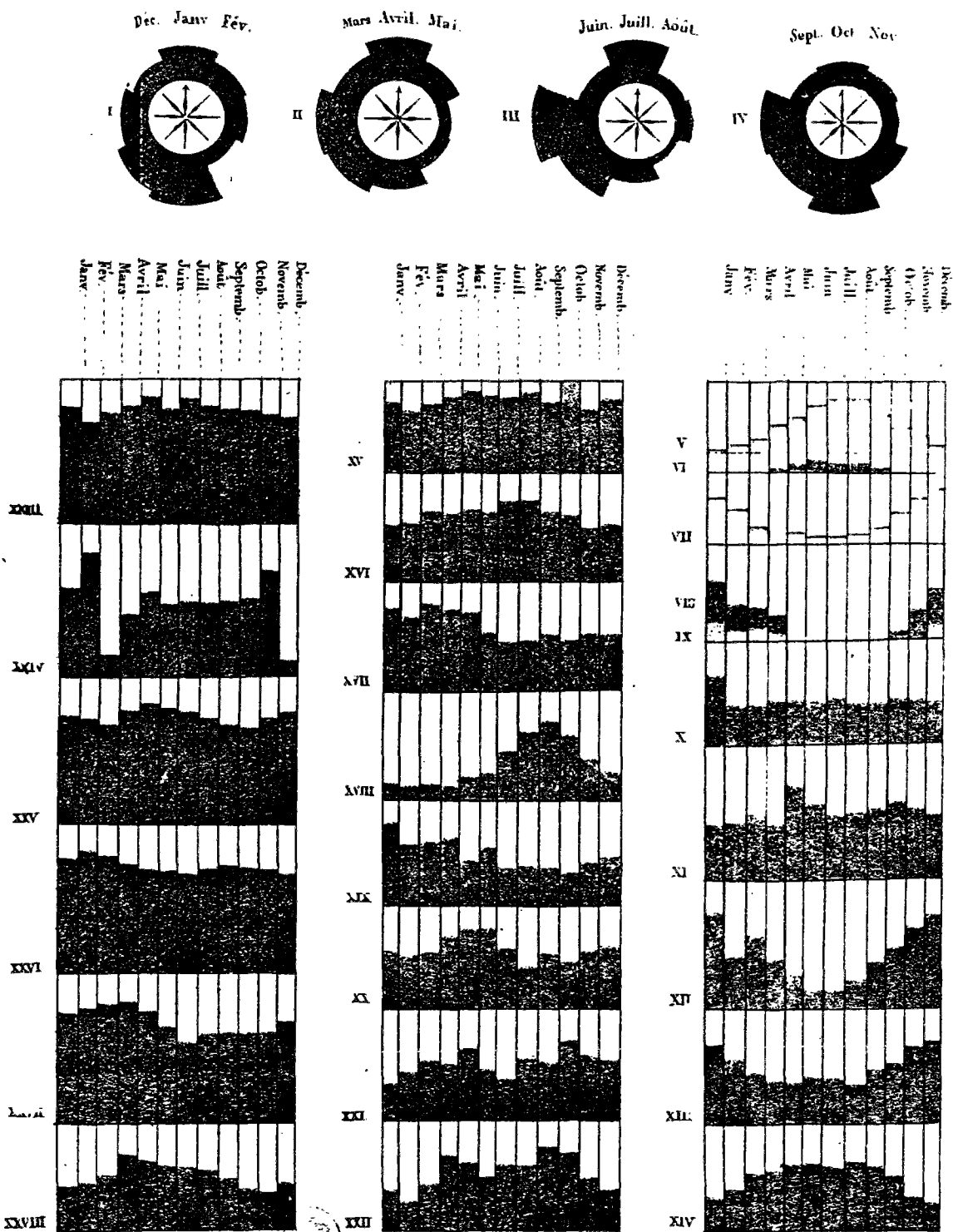
"Quoique l'influence du climat sur la production, le soulagement et la guérison des maladies soit établie d'une manière positive, cependant il n'y a rien dans la science qui soit moins satisfaisant que l'explication que nous pouvons donner de cette influence, et il est certain que, dans la pratique, rien n'est plus difficile que d'en faire un heureux emploi."¹

Aussi Clark, qui parle, s'attache-t-il à examiner les climats anglais, nous disant de Londres que "le climat de cette ville a plusieurs qualités qu'il doit à des circonstances purement accidentelles, comme une grande population, de nombreuses fabriques, des maisons qui augmentent et réfléchissent la chaleur, le pavage et par conséquent la sécheresse du sol, etc."² La température moyenne (10,2°C) est supérieure d'un degré à celle des environs ruraux, écart qui varie dans l'année et selon la période de la journée. Par ailleurs, "les individus d'une constitution molle qui souffrent de maladies qui en dépendent, qui ne peuvent supporter une atmosphère trop resserrée et humide, et auxquels un air sec et doux est salubre, feront bien d'habiter Brighton pendant les mois d'automne"³ : chaud, froid, sec, humide demeurent les principaux déterminants du climat. Déjà en 1829, dans le premier numéro des *A.H.P.M.L.*, l'avocat A. Guerry avait établi un "Tableau des variations météorologiques comparées aux phénomènes physiologiques" (figure 41).

¹. J. CLARCK, "De l'influence du climat sur les maladies chroniques", traduit de l'anglais, *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, p. 53.

². *Ibid.*, p. 62.

³. *Ibid.*, p. 68.



Météorologie :

I à IV : direction des vents ;
V : température à 9h00 du matin ;
VI : jours de tonnerre ;
VII : hygromètre ;
VIII : jours de gelée ;

IX : jours de neige ;

X : jours de pluie ;

XI : hauteur de la pluie ;

XII : jours de brouillard ;

XIII : jours de temps couvert ;

XIV : beaux jours.

Physiologie :

XV : phlegmasies internes ;

XVI : ophtalmies ;

XVII : catharre pulmonaire ;

XVIII : variole ;

XIX : fluxions de poitrine ;

XX : phthisie pulmonaire ;

XXI : diarrhée, dysenterie ;

XXII : fièvres intermittentes ;

XXIII : admissions sans distinction de maladie.

Figure 41. Variations météorologiques et phénomènes physiologiques à Paris (1829).

(diagrammes établis sur la base des relevés de l'Observatoire, du bureau central des hospices et du nombre d'admissions dans les hôpitaux parisiens au cours de la période 1820-1827)

Source : A. GUERRY, "Tableau des variations météorologiques comparées aux phénomènes physiologiques (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 1, 1829, pp. 228, 232, pl.

Ainsi apprend-on que les ophtalmies sont "plus fréquentes à mesure que la chaleur s'élève"¹ ; la régularité de la variole "ne permet pas de l'attribuer au hasard"² ; les admissions sont les plus nombreuses au printemps — "La hauteur de janvier n'exprime pas exactement le nombre de malades, parce que, dans ce mois rigoureux, beaucoup de malheureux cherchent dans les hôpitaux un refuge contre le froid et la misère"³ — ; les suicides marquent "une périodicité dont l'étude pourrait devenir d'une haute importance pour les sciences psychologiques"⁴ ; etc.

Guerry n'est pas un cas isolé : les médecins Lombard — qui analyse l'influence des saisons sur la mortalité selon l'âge, montrant qu'elles jouent un rôle déterminant pour les enfants et les vieillards⁵ —, Foissac⁶, Alphonse Devergie — qui montre "que c'est en hiver, et surtout pendant les mois de janvier février et mars, où la température est à Paris la plus rigoureuse, que les morts subites sont les plus communes"⁷ —, le chirurgien Malgaigne — qui étudie les fractures et les luxations⁸—, et bien sûr Adolphe Quételet et Louis-René Villermé, sont du lot. Quételet se base sur des séries statistiques néerlandaises de douze années pour conclure :

"la périodicité des saisons se trouve très-fidèlement reproduite dans ses effets en tant qu'ils concernent les naissances et les décès de l'espèce humaine, le développement de ses passions, de son penchant au crime et de ses dispositions à l'aliénation mentale. [...] Il est cependant une distinction à faire, c'est que si le système social subit l'influence des causes tout aussi fidèlement qu'un autre système quelconque, il porte en lui des forces morales capables de modifier cette influence, sinon puissamment, du moins d'une manière sensible."⁹

¹. A. GUERRY, "Tableau des variations météorologiques comparées aux phénomènes physiologiques, d'après les observations faites à l'Observatoire royal et les recherches statistiques les plus récentes", *A.H.P.M.L.*, t. 1, 1829, p. 231.

². *Ibid*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 232.

⁴. *Ibid.*, p. 233.

⁵. H. C. LOMBARD, "De l'influence des saisons sur la mortalité à différens âges", *A.H.P.M.L.*, t. 10, 1833, pp. 93-114.

⁶. P. FOISSAC, *De l'influence des climats sur l'homme*, Paris, 1837, 424 p.

⁷. A. DEVERGIE, "De la mort subite, de ses causes, de sa fréquence suivant l'âge, le sexe et les saisons", *A.H.P.M.L.*, t. 20, 1838, p. 175.

⁸. J. F. MALGAIGNE, "Etudes statistiques sur les fractures et les luxations", *A.H.P.M.L.*, t. 22, 1839, pp. 241-269.

⁹. A. QUETELET, "De l'influence des saisons sur l'homme", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 567-568.

Il est vrai que la *statistique médicale* ne repère pas que l'influence du climat et se substitue parfois à la topographie médicale : les recherches de Villermé en sont la preuve. En 1830, il rend compte d'un énorme travail sur la mortalité parisienne qui renverse certaines idées reçues. Les catégories traditionnelles de la topographie médicale sont examinées :

- l'influence du fleuve n'est pas perceptible lorsque l'on considère les arrondissements, une analyse plus fine montre que si "les faits [portent] à croire que le voisinage du fleuve est une circonstance fâcheuse ; [...] l'influence de la rivière est à peine marquée, ou même nous échappe."¹ ;
- "A l'exception des Champs-Élysées, des parties éloignées des faubourgs et des jardins, le sol de Paris est partout ou presque partout formé, à sa surface, d'une croûte plus ou moins épaisse de débris de démolition, de terres rapportées, qu'un pavé recouvre encore entre les maisons. Conséquemment on ne peut attribuer à la nature différente du sol de tel ou tel arrondissement, une influence particulière"², d'autant plus que lorsque l'on y rencontre d'anciens dépôts de voirie, ceux-ci sont suffisamment enfouis pour n'être d'aucun effet ;
- les vents n'affectent pas la mortalité : le huitième arrondissement est exposé au levant — "pareille exposition passe assez généralement pour être la plus salubre"³ — et l'on y meurt beaucoup, à l'opposé, le premier arrondissement, exposé à l'ouest ; bien plus, Villermé rejoint Parent-Duchâtelet : "l'influence des vents infects qui passaient sur la voirie de Montfaucon, avant qu'on ne l'éloignât, ne paraît pas avoir été fâcheuse pour les quartiers de Paris les plus voisins de cette voirie, et où ils soufflaient le plus souvent"⁴.

La conclusion est claire : "Nous ne découvrons donc pas, dans la disposition des lieux et dans les circonstances météorologiques, les causes des différences que présente la

¹. L. R. VILLERMÉ, "De la mortalité dans les divers quartiers de la ville de Paris, et des causes qui la rendent très différente dans plusieurs d'entre eux, ainsi que dans les divers quartiers de beaucoup de grandes villes", *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, p. 300.

². *Ibid.*, p. 301.

³. *Ibid.*, p. 302.

⁴. *Ibid.*, p. 303.

mortalité dans les divers arrondissements de Paris."¹ Pourtant, cette différence existe, comme le montre le tableau 28. Elle conduit Villermé à examiner le rôle éventuel de la qualité de l'eau, qu'il trouve nul², le taux d'occupation du sol, ou plutôt, selon ses termes, "l'agglomération comparative des maisons"³, qui ne donne rien (tableau 28) — donc "la largeur des rues, les places, les jardins, les plantations, ne servent pas, autant qu'on le croit, à la salubrité de plusieurs quartiers"⁴ —, pas plus que la densité de population. Les données concernant la propreté, l'alimentation, le vêtement sont pauvres et peu exploitables. Reste le statut social, évalué par le taux d'imposition, qui permet à Villermé de conclure : "la richesse, l'aisance, la misère sont, dans l'état actuel des choses, pour les habitants des divers arrondissements de Paris, par les conditions dans lesquelles elles les placent, les principales causes (je ne dis pas les causes uniques) auxquelles il faut attribuer les grandes différences que l'on remarque dans la mortalité."⁵

Tableau 28. Mortalité (décès à domicile, dans les hôpitaux et les hospices) et densité de construction des arrondissements de Paris (1817-1826).

arrondissement	1817-1821 1 décès sur	1822-1826 1 décès sur	surface bâtie %
1er	58	66	57
2e	62	71	75
3e	60	67	55
4e	58	62	59
5e	53	64	46
6e	54	58	62
7e	52	59	82
8e	43	46	46
9e	44	50	60
10e	50	49	53
11e	51	61	55
12e	43	44	64
Paris	51	56	

D'après : L. R. VILLERMÉ, "De la mortalité dans les divers quartiers de la ville de Paris (...)",
A.H.P.M.L., t. 3, 1830, pp. 296-297, 305.

¹. *Ibid.*, loc. cit.

². S'il veut bouleverser certaines idées reçues, il adhère à l'opinion selon laquelle "l'eau de la Seine [est] la plus légère, la plus pure et la meilleure" ; *ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, p. 305.

⁴. *Ibid.*, loc. cit.

⁵. *Ibid.*, pp. 311-312.

Oui, mais il faut bien reconnaître que ces conditions relèvent de l'environnement, comme le montre la comparaison de "la rue de la Mortellerie, l'une de celles où le plus de pauvres sont entassés dans des logements étroits, sales, obscurs et mal aérés, avec les quatre quais de l'île Saint-Louis, où, en général, les logements sont de spacieux appartements et les habitants à leur aise."¹

La conclusion est la même en ce qui concerne les méfaits du choléra dans les maisons garnies : "les ravages de la maladie ont été en raison des causes flagrantes d'insalubrité que ces lieux présentaient, et de l'état de pauvreté, de misère de leurs habitants, surtout lorsque ces lieux servaient à la prostitution."²

En outre, si Villermé ne prend pas en compte les météores dans son analyse de la mortalité urbaine, d'autres séries statistiques révèlent que "le rapport des épidémies avec la constitution atmosphérique et la marche des saisons"³ est réel, de même que l'examen de 1 800 000 décès dans les pays marécageux montre que "l'époque du dessèchement des marais a lieu dans nos climats, en juillet, août, septembre et octobre, surtout vers le Midi, où ces mêmes mois (qui offrent très peu de décès dans les cantons parfaitement salubres), deviennent alors ordinairement le temps de la plus forte mortalité."⁴

L'usage de la statistique à tout va, s'il permet de dissiper certains préjugés, ne laisse pas d'être dangereux. D'une part, il ne permet pas d'évaluer les faisceaux de causes — ce que Villermé reconnaît implicitement lorsqu'il affirme : "si les vents d'est ou d'ouest [...] ont l'influence qu'on leur attribue sur la santé, d'autres causes agissent en sens inverse et ne permettent pas de la reconnaître"⁵ —, d'autre part, il amène à mettre en rapport les facteurs les plus divers, avec des séries insuffisantes (tableau 29). Ainsi, les recherches sur la phtisie pulmonaire de l'économiste Benoiston de Châteauneuf : dans la commune de Meusnes, on extrait le silex à quarante à cinquante pieds de profondeur afin de fabriquer des pierres à fusil ; depuis la création de cette industrie, l'apparition de la phtisie entraîne une nette augmentation de la mortalité et une vie moyenne réduite de cinq ans.

1. *Ibid.*, p. 326.

2. VILLERMÉ, "Note sur les ravages du choléra-morbus dans les maisons garnies de Paris, depuis le 29 mars jusqu'au 1er août 1832, et sur les causes qui paraissent avoir favorisé le développement de la maladie dans un grand nombre de maisons", *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, p. 403.

3. VILLERMÉ, "Des épidémies sous les rapports de l'hygiène publique, de la statistique médicale et de l'économie politique", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, p. 21.

4. VILLERMÉ, "De l'influence des marais sur la vie", *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, p. 345.

5. A moins qu'il ne veuille pas bousculer les postulats hippocratiques ; VILLERMÉ, "De la mortalité dans les divers quartiers de la ville de Paris (...)", *op. cit.*, p. 302.

Pour les uns, la cause en est dans la poussière qui pénètre les poumons, pour les autres dans la position de l'ouvrier ; or, les professions à poussière ont une mortalité phthisique de 23 ‰, alors que celles qui exigent une position courbée font 55 à 133 ‰ victimes chez les femmes, 50 ‰ chez les hommes. La démonstration est faite¹.

Tableau 29. La mortalité cholérique dans ses rapports avec les diverses professions classées suivant leur mode principal d'action (1832).

1 ^{re} Professions sédentaires, exigeant de la part de ceux qui les exercent qu'ils soient habituellement assis.					
	Hommes.	Femmes.	Total.	Population de la profession.	1 sur
Femmes travaillant à l'aiguille . . .	44	44	44	1200 à 1500	30 $\frac{1}{2}$
Portiers, portières et leurs enf. (1) . . .	12	11	21	900 - 1000	15
Cordonniers et cordonnières . . .	10	3	13	200 - 220	16
Employés ou commis . . .	5	5	5	300 - 350	65
Tailleurs et femmes de tailleurs . . .	2	3	5	200 - 220	42
Professeurs et institutrices . . .	3	1	4	150 - 180	44
Professions diverses . . .	2	1	3	156 - 156	52
	32	63	95	3106 - 3626	35 $\frac{1}{2}$
2 ^o Professions intérieures, exigeant habituellement de la part de ceux qui les exercent la présence dans l'intérieur des maisons et le mouvement du corps.					
Blanchisseuses en chambre (2) . . .	7	9	9	450 - 200	19 $\frac{1}{2}$
Serruriers . . .	7		7	250 - 300	39
Peintres (ouvriers) . . .	5		5	150 - 200	35
Ménisiers-ébénistes . . .	6		6	350 - 400	62 $\frac{1}{2}$
Corroyeurs . . .	2		2	80 - 100	45
Selliers . . .	2		2	60 - 80	35
Garde-malades . . .		2	2	200 - 250	112
Imprimeurs (ouvriers) . . .	3		3	150 - 200	58
Professions diverses . . .	12	4	16	832 - 832	52
	37	15	52	2422 - 2562	46 $\frac{1}{3}$
3 ^o Professions extérieures, exigeant de la part de ceux qui les exercent leur présence habituelle au dehors.					
	Hommes.	Femmes.	Total.	Population de la profession.	1 sur
Journaliers . . .	12		12	600 - 700	54
Marchandes au marché (1) . . .		9	9	100 - 150	14
Cochers ou charretiers . . .	6		6	100 - 150	12
Commissionnaires . . .	4		4	100 - 120	28
Maçons . . .	2		2	80 - 100	45
Chiffonniers (2) . . .		3	3	40 - 50	15
Perruquiers . . .	2		2	30 - 40	18
Médecins . . .	1		1	45 -	45
Professions diverses . . .	6	1	7	364 - 364	52
	33	13	46	1459 - 1719	34 $\frac{1}{2}$
4 ^o Professions mixtes, c'est-à-dire qui ne sont habituellement ni sédentaires, ni intérieures, ni extérieures.					
Propriétaires, rentiers ou pensionnaires . . .	17	32	49	2500 - 3000	56
Militaires . . .	20		20	950 - 1000	49
Domestiques . . .	9	25	34	1800 - 1800	53
Femmes dont les maris sont au-dessus du besoin et qui n'exercent elles-mêmes aucune profession . . .		11	11	700 - 800	68
Femmes d'ouvriers qui n'exercent elles-mêmes aucune profession . . .		26	26	500 - 550	21
Pair de France. — Magistrat (3) . . .	1	1	2	10 - 12	11
Député (4) . . .	1		1	5 -	6 $\frac{1}{2}$
Prêtre . . .	1		1	100 - 140	120 $\frac{1}{2}$
Professions diverses . . .	6		6	312 - 312	52
	55	94	149	6877 - 7620	48 $\frac{1}{3}$
Total général des quatre catégories de professions . . .					
157 185 342 15664 - 15527 42 $\frac{2}{3}$					
Nota. Les professions de 64 décodés ne sont point mentionnées dans ce tableau, soit parce qu'ils n'en avaient point, comme les enfants, soit parce qu'elles n'ont pas pu être constatées.					

Source : H. G. BOULAY de la MEURTHE, *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg* (...), Paris, 1832, pp. 124-125.

¹. BENOISTON de CHATEAUNEUF, "De l'influence de certaines professions sur le développement de la phthisie pulmonaire, à l'occasion d'une industrie particulière à la commune de Meusnes, département de Loir-et-Cher", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 5-49.

On pourrait multiplier les exemples. Claude Bernard en rapporte de fort cocasses : "j'ai entendu un candidat citer trois cas de colique de plomb dont deux cas avaient été traités par la saignée et un cas par les purgatifs, puis conclure de là que la statistique apprenait que pour la colique de plomb, les deux tiers des cas guérissaient par la saignée et un tiers par les purgatifs."¹ C. Bernard conclut : "La statistique médicale bien faite est certainement utile au médecin. Elle lui permet de fonder son pronostic sur les diverses maladies. Mais elle ne va pas au delà d'une approximation empirique, elle ne peut jamais suffire au médecin pour constituer la médecine scientifique vers laquelle il doit aspirer."²

¹. C. BERNARD, *Principes de médecine expérimentale*, 2e éd. [1ère éd. 1947], Paris : P.U.F., 1987, p. 66.

². *Ibid.*, p. 67.

III.1.3. HUMER, OBSERVER : PARENT-DUCHÂTELET

Bien qu'à l'opposé de la supposée rationalité statistique, Alexandre Parent-Duchâtelet, ce *pionnier de l'hygiène*, selon l'expression de Philippe Cebon de Lisle¹, s'attache lui aussi à détruire les vieux démons. Ainsi, s'il admet avoir cru, comme beaucoup, à la corruption des aliments par les émanations putrides, il révisé son jugement. En effet, les faits montrent qu'il n'en est rien : la Bièvre, "un cloaque infect d'où s'échappent des odeurs putrides tellement intenses, qu'elles ternissent et noircissent la batterie de cuisine de tous les riverains"², n'altère pas les substances alimentaires conservées chez les riverains — en 1822, Lachaise affirmait que par les temps chauds, "il leur est impossible de conserver le bouillon au-delà de quelques heures"³ —, le voisinage des voiries, des puisards, des amphithéâtres d'anatomie, des boyauderies n'a pas plus d'effet. Mais plus curieuse est la série d'expériences à laquelle se livre le médecin : mettant en contact dans des bocaux des substances animales putréfiées avec du lait, du bouillon, etc., il observe et il sent. Le résultat espéré est obtenu, mais Parent-Duchâtelet reste prudent :

"je n'hésiterais pas un seul instant à déclarer, que les émanations putrides n'ont pas pour effet d'accélérer la putréfaction des substances alimentaires avec lesquelles ont les met en contact ; mais jusqu'à ce que d'autres personnes aient pu vérifier ce que je viens d'avancer, je crois qu'il est d'un esprit judicieux de ne pas se prononcer d'une manière aussi absolue. N'ayant jamais eu d'autres réactifs que mes sens, puis-je répondre qu'ils ne m'auront jamais trompé ?"⁴

Et c'est là que le bât blesse : Parent-Duchâtelet ne fait pas plus que Thiroux d'Arconville soixante-cinq ans plus tôt.

¹. P. CEBRON de LISLE, "Alexandre Parent-Duchâtelet : un pionnier de l'hygiène (1790-1836)", *T.S.M.-L'eau* 85(9), sept. 1990, p. 439. Reçu docteur en médecine en 1814, Parent-Duchâtelet rencontre Hallé qui lui conseille de s'occuper d'hygiène, ce qu'il fait de 1821 à sa mort, en 1836 (LEURET, "Notice historique sur A. J. B. Parent-Duchâtelet", *A.H.P.M.L.*, t. 16, 1836, pp. vi-vii) ; ses œuvres posthumes sont publiées la même année (A. J. B. PARENT-DUCHÂTELET, *Hygiène publique ou mémoires sur les questions les plus importantes de l'hygiène appliquées aux professions et aux travaux d'utilité publique*, Paris, 1836, 2 vol.), mais la majeure partie de ses mémoires se trouve dans les *A.H.P.M.L.*.

². PARENT-DUCHÂTELET, "Recherches pour déterminer jusqu'à quel point les émanations putrides, provenant de la décomposition des matières animales, peuvent contribuer à l'altération des substances alimentaires", *A.H.P.M.L.*, t. 5, 1831, p. 9.

³. LACHAISE, *op. cit.*, p. 199.

⁴. PARENT-DUCHÂTELET, "Recherches (...)", *op. cit.*, p. 54.

Pragmatisme de l'hygiéniste qui veut ramener les faits à leur juste valeur ou complaisance et caution scientifique vite accordées aux projets les plus divers ? Depuis 1784, un arrêt du Conseil d'Etat prescrit l'enfouissement à dix pieds de profondeur des animaux morts de maladies contagieuses. Est-ce nécessaire ? Pour Parent-Duchâtelet, la réponse est non. En effet, à Montfaucon, les chevaux morts de maladie contagieuse sont traités comme les autres,

"et leur sang mélangé aux liquides et aux matières sanieuses et purulentes, fournis par les intestins et les organes malades, forme une boue épaisse qu'on écarte avec la pelle quand elle est trop abondante, et qui recouvre en tout temps le sol de tous les clos de Montfaucon. Cette boue extrêmement tenace, s'attachant aux roues des charrettes, aux pattes des chiens, ainsi qu'aux pieds des hommes et des chevaux [...], est de cette manière transportée hors des clos et disséminée sur les routes voisines"¹ ;

or, aucune contagion particulière n'est à déplorer dans le secteur.

Pourtant, moins d'un an auparavant, s'il soulignait la bonne santé des équarisseurs², il évoquait les habitants "suffoqués par les émanations qui s'échappent des lieux où l'on a relégué les chantiers d'écarrissage et les dépôts de vidange [...]. En effet, rien ne peut être comparé à l'infection produite par ces établissements"³. Et si, comme l'a rapporté Villermé, Paris n'en est pas affecté, c'est que "les émanations fétides qui sortent de ce lieu, ne se concentrent pas dans la voirie et son voisinage ; elles sont disséminées au loin par les vents régnants, et semblent portées sur les villages de Pantin et Romainville [...], ce qui diminue beaucoup la valeur des propriétés situées dans ces villages"⁴. Il propose donc un chantier idéal, c'est-à-dire imperméable ; il est vrai que l'enjeu est de taille, puisque tout sert dans le cheval mort, comme l'a montré Bernadette Lizet⁵ (tableau 30).

¹. PARENT-DUCHÂTELET, "Notice sur cette question : peut-on sans inconvénient laisser tomber en désuétude l'art. 6 de l'arrêt du Conseil d'Etat du 16 juillet 1784, relatif à l'enfouissement des animaux morts de maladies contagieuses ?", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, p. 113.

². PARENT-DUCHÂTELET, "Des chantiers d'écarrissage de la ville de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 8, 1832, p. 139.

³. *Ibid.*, p. 6.

⁴. *Ibid.*, pp. 98-99.

⁵. B. LIZET, *Le cheval dans la vie quotidienne : techniques et représentations du cheval de travail dans l'Europe industrielle*, Paris : Berger-Levrault, 1982, pp. 167-174.

Un autre exemple nous est fourni à l'occasion d'une contestation relative aux causes d'insalubrité d'un terrain d'Epinaï traversé par le ruisseau d'Enghien, ruisseau dans lequel se jettent les eaux usées d'une féculerie située à l'amont. Le locataire du terrain, mécontent de l'insalubrité du lieu, porte plainte contre son propriétaire, lui reprochant un défaut de curage des fossés auquel il attribue les désagréments qu'il subit. Le propriétaire, quant à lui, peu enclin à effectuer les travaux qui lui sont demandés, accuse la féculerie de corrompre les eaux du ruisseau. Parent-Duchâtelet et le toxicologue Mathieu Orfila sont chargés d'examiner la question. Selon eux, tout est pour le mieux ; certes, les eaux de la féculerie "ont été désagréables [...] ; mais entre un *désagrément* et une *insalubrité* la *différence est grande*"¹ ; quant aux fossés, "l'abondance des eaux rend inutile l'enlèvement des vases qui sont constamment submergées."² Gaultier de Claubry, auteur d'un précédent rapport sur cette affaire, dans lequel il avait conclu à l'insalubrité du lieu, leur réplique vertement : "je suis parfaitement d'accord avec ces messieurs relativement à la nature des substances qui exercent une action sur les habitants du voisinage des marais : ELLE EST INCONNUE ; MAIS SON ACTION EST PROUVÉE"³.

Nous ne voulons pas nier l'ampleur de l'œuvre de Parent-Duchâtelet. Mais les conséquences d'une certaine désinvolture sont durables : longtemps on reprendra l'argument selon lequel :

"la preuve que les émanations des fosses ne sont pas malsaines, c'est l'état de santé florissant et la vigueur remarquable des ouvriers vidangeurs de Paris [...]. On a même remarqué que dans les temps d'épidémie, ces ouvriers n'étaient pas atteints par la contagion. La mortalité dans les quartiers de Paris, voisins des dépotoirs ou des voiries, n'est pas plus grande qu'ailleurs, et les maladies n'y sont pas plus fréquentes."⁴

¹. M. ORFILA, PARENT-DUCHÂTELET, "Rapport fait au tribunal de première instance du département de la Seine, sur les féculeries et les effluves des marais" (faux titre), *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, p. 340.

². *Ibid.*, p. 341.

³. H. GAULTIER de CLAUBRY, "Quelques observations sur l'influence des marais, en réponse à l'avis de MM. Orfila et Parent Duchatelet, relatif à l'état et à l'influence des pièces d'eau de M. le Comte de Sommariva", *A.H.P.M.L.*, t. 12, 1834, p. 47. Gaultier de Claubry sera révoqué du Conseil de salubrité pour avoir voulu "monopoliser au profit d'une entreprise particulière le service des vidanges". Archives Nationales, F⁸ 172.

⁴. J. H. TOUCHET, *Guide pratique de la vidange agricole à l'usage des agronomes, propriétaires et fermiers (...)*, 2e éd., Paris, [1868], pp. 17-18.

Echo, en 1868, des travaux de Parent-Duchâtelet que nous avons déjà évoqués et de son *Essai sur les cloaques*¹, œuvre qui inaugure sa carrière d'hygiéniste et à laquelle Eugène Belgrand fera encore référence lorsqu'il étudiera les odeurs des égouts de Paris pour montrer qu'elles "sont aujourd'hui très affaiblies par le lavage et le curage."²

Tableau 30. Matières fournies par l'équarrissage (1832).

Cheval équarri avec soin	état moyen kg	bon état kg	utilisation
crins	0,1	0,22	éttoffe (peu car pas assez longs)
peau.....	34.....	37.....	tanneries
sang.....	18,5.....	20,8.....	utilisation potentielle : raffinage, nourriture des animaux, engrais
chair musculaire.....	164.....	203.....	nourriture (des animaux officiellement, mais pourquoi pas légalement des hommes)
issues (cervelle, langue, cœur, etc)	36.....	39.....	inutiles sauf intestins grêles (cordes)
tendons.....	2.....	2,1	"après la peau et la graisse, les parties les plus recherchées" : colle
graisse.....	4.....	31,5	huile (émailleurs, fabricants de perles, verre)
pieds.....			colle
fers et clous.....	0,45	1,8.....	ferraille ou fer
corne.....			peignes de peu de valeur, si défectueux : fabricants de sel ammoniac et de bleu de Prusse
os.....	46.....	48,5	inutiles et depuis 20 ans : ammoniacque, gélatine, engrais, gros os : murs
(asticots).....			pêche, alimentation des poules
Total.....	306.....	386.....	

D'après : PARENT-DUCHÂTELET, "Des chantiers d'écarissage de la ville de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 8, 1832, pp. 60-91, 151.

¹. PARENT-DUCHÂTELET, *Essai sur les cloaques ou égouts de la ville de Paris*, Paris, 1824.

². BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 175.

III.1.4. AFFECTIONS LOCALES

Il est vrai que l'ampleur des maladies épidémiques et endémiques n'est plus la même : au XVIII^e siècle, ce sont des régions entières qui sont affectées, alors que Bricheteau peut affirmer, dans son rapport sur les épidémies de 1839-1840 :

"Il est évident qu'à mesure que nous avançons, la gravité des épidémies diminue en raison des perfectionnemens de l'hygiène publique. L'élargissement des rues, le nettoiemment et l'entretien de la voie publique, l'isolement des sépultures, le dessèchement des marais, etc., ont détruit, ou rendu beaucoup moins meurtriers, les désastres épidémiques qui effrayèrent nos aïeux. [...] Il y a plus, les miasmes qui nous menacent encore, nous les neutralisons par des agens désinfectans"¹.

Mais ce n'est pas pour autant que ces affections disparaissent, tout au plus sont-elles maintenant localisées, en milieu urbain, dans certains quartiers, et souvent en milieu rural : "La plupart des améliorations hygiéniques se sont opérées avec le concours des lumières de nos cités : en sorte, qu'aujourd'hui les épidémies nous viennent souvent des campagnes"², ajoute Bricheteau.

L'analyse des causes d'insalubrité se fait peut-être plus pointue grâce à la voie ouverte par les topographies médicales. Ainsi, Vincennes est une ville pavée, ses eaux pluviales et ménagères "se dirigent vers trois rues, où elles se réunissent pour se rendre par un ruisseau commun et découvert à une mare d'évaporation située à l'intérieur du parc"³. Or, la mortalité de ces trois rues, dont les habitants sont aisés, est d'un décès sur trente (sur dix ans, en moyenne proportionnelle), alors qu'elle n'est que d'un décès sur cinquante dans les autres rues : ce surcroît de mortalité ne peut qu'être dû aux "émanations qui s'élèvent des ruisseaux qui reçoivent les eaux ménagères, et de la mare d'évaporation"⁴. A Chartres — "comme toutes les anciennes villes, il est triste, vieux et

¹. BRICHETEAU, "Extrait d'un rapport de la commission des épidémies de l'Académie Royale de Médecine pour l'année 1839 et une partie de 1840", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, p. 270. Pour le seul département de la Seine, les travaux de dessèchement et de curage sont rapportés annuellement par le Conseil de salubrité, créé le 7 juillet 1807, publiés en 1829 par Moléon (*Recueil des travaux du conseil de salubrité de la ville de Paris et du département de la Seine*, Paris, 1829, 2 vol.)

². *Ibid.*, loc. cit.

³. "Rapport général des travaux du Conseil de salubrité de la ville de Paris pour l'année 1828, présenté à M. Le préfet de Police", *A.H.P.M.L.*, t. 2, 1829, p. 321.

⁴. *Ibid.*, loc. cit.

laid"¹ —, les bouchers, tanneurs, corroyeurs, mégissiers, ouvriers des marchands de laine, tous habitants de la basse-ville, sont atteints d'affections charbonneuses, car "nous savons qu'un séjour plus ou moins prolongé dans les lieux bas et humides, au milieu des miasmes provenant de la décomposition putride des matières animales ou végétales donne naissance au charbon."² En 1835, à Saint-Aignan, en Sologne, une épidémie de dysenterie touche 74 personnes, en tuant huit, dans un village qui ne compte que 110 habitants. Ni l'exposition — le village est bâti sur un salubre coteau —, ni les circonstances météorologiques — un temps doux et sec — ne peuvent en être la cause. Mais les opérations de nettoyage elles-mêmes peuvent se retourner contre les hommes : ici, c'est le curage d'un biez qui est responsable, la putréfaction végétale entraînant d'abord les fièvres intermittentes puis se portant sur les voies digestives jusqu'à causer la dysenterie. "Je serais tenté de ne voir dans cette succession de symptômes gradués, que les divers degrés d'une affection unique, d'un empoisonnement miasmatique"³, conclut le médecin Boulet, qui reconnaît malgré tout l'existence d'autres causes aux dysenteries. Sur les 750 habitants de Prades, 95 périssent dans une épidémie à la fin de 1838, alors que 310 sont atteints : "elle provenait d'un cloaque, rendez-vous des eaux du voisinage, des immondices qu'elles entraînent, et le réceptacle des animaux morts de tout le pays. La température variable et chaude qui avait précédé, était d'ailleurs très propre à augmenter l'activité du foyer d'infection."⁴

¹. LEURET, "Note sur la fréquence des affections charbonneuses à Chartres", *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, p. 489.

². *Ibid.*, p. 491.

³. M. BOULLET, "Sur les causes d'une épidémie de dysenterie qui a régné dans un village en Sologne, pendant l'automne de 1836", *A.H.P.M.L.*, t. 19, 1838, p. 213.

⁴. BRICHETEAU, *op. cit.*, p. 273.

III.1.5. ALLERS-RETOURS

Ainsi, le sol n'est plus dans toute son étendue reconnu comme le principal coupable d'insalubrité. Non pas que sa nature ait fondamentalement changé, mais en raison du regard qu'on lui porte : outre la confusion qui règne relativement aux grandes épidémies meurtrières, la dédramatisation de Parent-Duchâtelet, la recherche des causes précises et localisées par les conseils de salubrité, et surtout la toute puissance de la statistique qui, même si elle en a la prétention, ne peut quantifier le milieu, en sont les principales causes.

Le fil de l'hygiénisme ne se déroule pas linéairement des exhalaisons à l'imperméabilisation du sol. Si l'on pressent le micro-organisme, les explications médicales sont toujours contradictoires, seules les exhalaisons minérales semblent avoir disparu, et la pressiométrie a encore bonne presse en 1841 : pour T. Hopkins, foin des exhalaisons irrationnelles, qu'elles soient minérales ou putrides, et des croyances populaires : le *malaria*, comme les fièvres en général, relève d'un déséquilibre énergétique. En effet, la température du point de rosée de l'air varie, alors que celle de l'homme en bonne santé est constante. "Que le corps se trouve plongé dans une atmosphère dont le point de rosée est à 6 et même à 16 degrés, il deviendra le siège d'une évaporation énergique : à 21 degrés, celle-ci aura encore une grande puissance, tandis qu'elle deviendra extrêmement faible, quand le point de rosée s'élèvera à 27 ou 32 degrés."¹ Or, "la transpiration paraît être le moyen employé par la nature pour régulariser la température du corps"² puisqu'elle consomme de l'énergie ; qu'elle cesse et la fièvre monte. Une connaissance parfaite des microclimats permettrait donc aux médecins de "diriger les malades vers un air plus sec ou plus humide, suivant l'exigence des cas particuliers. [...] On suppléerait à l'évaporation en mettant le malade dans des étuves sèches ou humides, afin de provoquer chez lui une transpiration abondante."³ Nouvelle offensive — et la plus aboutie — de la théorie selon laquelle l'air humide et chaud est néfaste.

Cependant, nous l'avons vu dans les pages qui précèdent, pour beaucoup, la putréfaction, analysée grâce à la chimie, demeure le plus redouté des facteurs pathogènes, bien que l'on ne sache plus très bien à quoi s'en tenir en ce qui concerne les émanations

¹. T. HOPKINS, "Observations sur la nature les effets du *Malaria*", traduit de l'anglais par A. Guérard, *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, p. 43.

². *Ibid.*, p. 44.

³. *Ibid.*, pp. 58-59.

qu'elle produit : ainsi, si "l'observation paraît avoir prouvé que les émanations des égouts et des fosses d'aisance avaient une influence des plus marquées sur les affections vénériennes de quelque nature qu'elles fussent"¹, on admet que "le gaz hydrogène sulfuré n'est pas aussi délétère qu'on l'a cru jusqu'ici"². Malgré tout, les ouvrages du médecin Pierre Adolphe Piorry³, de Monfalcon et Polinière⁴, datés respectivement de 1838 et 1846 pour ne citer qu'eux, apparaissent comme des synthèses des savoirs de la fin du XVIIIe siècle : complètent seuls ces théories le secours de la chimie tant décriée par Monfalcon et une timide remise en question de la subordination de la santé aux *six choses non-naturelles*⁵ : ainsi, à Strasbourg, le médecin Forget signale qu'"une [...] opinion accréditée, c'est que le phlegmatique habitant de notre ciel brumeux ne jouit que d'une susceptibilité nerveuse fort peu prononcée ; cependant les maladies du *système nerveux*"⁶ sont en nombre non négligeable.

Non pas que l'on ne soit redevable à l'hygiénisme de progrès concrets : dès la Monarchie de Juillet, on constate une baisse de la mortalité infantile et une augmentation de la durée de vie⁷. Mais ces progrès relèvent-ils d'une science médicale ou de techniques efficaces ?

1. "Rapport sur le curage des égouts Amelot, de la Roquette, Saint-Martin et autres, ou exposé des moyens qui ont été mis en usage pour exécuter cette grande opération, sans compromettre la salubrité publique et la santé des ouvriers qui y ont été employés (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 2, 1829, p. 128.

2. *Ibid.*, p. 143.

3. P. A. PIORRY, *Des habitations et de l'influence de leurs dispositions sur l'homme en santé et en maladie*, Paris, 1838.

4. MONFALCON, A. P. I. de POLINIÈRE, *Traité de salubrité des grandes villes, suivi de l'hygiène de Lyon*, Paris, 1846.

5. Les aliments et la boisson, le mouvement et le repos, le sommeil et la veille, les excréments et les sécrétions, les affections de l'âme (voir p. 102).

6. FORGET, "Note à consulter pour la statistique médicale de Strasbourg", *A.H.P.M.L.*, t. 23, 1840, p. 218.

7. LÉONARD, *loc. cit.*

III.2. LA PHYSIQUE DU SOL

De la Restauration à la fin du XIX^e siècle, le développement de la mécanique des sols intéresse le milieu urbain selon deux axes complémentaires et dépendants dans l'*Erdbaumechanik* de Terzaghi mais encore nettement séparés auparavant : la perméabilité d'une part, la compressibilité de l'autre — avec moins de succès. En effet, une nouvelle fois se pose la question de la défense du territoire. La majorité des places fortes entretenues ou rénovées durant le Premier Empire sont à la Restauration situées hors et contre les frontières de la France ; à l'aide d'un budget dérisoire, les ingénieurs doivent réhabiliter de vieux remparts modernisés du temps de Vauban et tombés depuis en désuétude¹. La recherche et la distribution de l'eau, la canalisation souterraine de la ville — nous reviendrons ultérieurement sur leurs conséquences *mésologiques* —, le développement des transports par voie d'eau et de terre — ou plus justement de cailloux —, selon une ampleur sans précédent amènent à optimiser les techniques de construction et de fondation.

¹. Une commission créée en 1818 par le maréchal Saint-Cyr travaille deux ans sur le cordon de places qui ceint le royaume et renonce à leur démantèlement. Aux 102 places et 59 postes décrétés le 10 Juillet 1791 s'ajoutent ainsi, en 1821, 80 nouvelles places. *Instruction sur le service du génie dans les places*, Paris, 1822, p. V.

III.2.1. TROIS DISCIPLINES, TROIS PERMÉABILITÉS

Dès les années 1810, Girard s'est attaché à définir la capillarité¹ ; dans les années 1840, Jean-Louis Poiseuille, polytechnicien qui passe sa thèse de médecine en 1828, cherche à mesurer la pression artérielle : pour étudier la manière dont le sang s'écoule à travers le réseau capillaire, il analyse le comportement de l'eau dans des tubes très fins montrant que le flux dépend du diamètre et de la longueur du conduit, de la différence de pression entre ses deux extrémités et de la viscosité du fluide : il approche la notion de gradient hydraulique². Cependant ces recherches relèvent de la science des tuyaux — la solénologie que cherche à définir Ampère qui met au point le solénoïde — plus que de celle du sol.

a) *Hydraulique*

Pour soutenir le niveau de l'eau dans les canaux et autres réservoirs, il faut s'assurer de l'étanchéité des parois, connaître la perméabilité des sols. "On ne peut dissimuler que cette partie de l'art de l'ingénieur est une des moins avancées"³, estime Polonceau en 1829, qui en veut pour preuve les nombreuses fuites.

Polonceau divise les terrains perméables en deux catégories :

"la première comprendrait les sols sans cohésion, composés de particules mobiles, plus ou moins homogènes, comme les graviers, les sables, les terres végétales, etc. , ainsi que les mélanges de ces diverses substances, et [...] la seconde comprendrait les matières compactes, divisées irrégulièrement par des veines, des fissures, etc. , comme les bancs de pierres et de roches de toute nature, les craies, les marnes, les argiles, etc."⁴,

¹. GIRARD, "Mémoire sur le mouvement des fluides dans les tubes capillaires et l'influence de la température sur ce mouvement", *Mémoires de la Classe des Sciences mathématiques et physiques de l'Institut de France*, t. 14, 1813-1815, pp. 249-280 ; GIRARD, "Mémoire sur l'écoulement linéaire de diverses substances liquides par des tubes capillaires de verre", *Mémoires de l'A.R.S. de l'Institut de France*, 2e série, t. I, 1817, pp. 187-259 ; GIRARD, *Mémoire sur l'écoulement uniforme de l'air atmosphérique et du gaz hydrogène carboné dans les tuyaux de conduites*. Extrait des *Annales de chimie et de physique*, Paris, 1819.

². J. L. POISEUILLE, "Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans des tubes de très petits diamètres", *Mémoires présentés par divers savants à l'A.R.S. de l'Institut de France*, vol. 9, 1846, pp. 433-545.

³. A. R. POLONCEAU, *Notice sur quelques parties des travaux hydrauliques*, Paris, 1829, p. 31.

⁴. *Ibid.*, loc. cit.

distinction désormais classique entre perméabilité en petit et perméabilité en grand. La seconde doit toujours être jugulée par des moyens artificiels : glaisage — mais le retrait entraîne généralement des fissures —, revêtements en maçonnerie ou, mieux, en béton hydraulique. Mais les revêtements coûtent cher et "présentent un danger, c'est qu'étant rigides, ils sont exposés à des ruptures par suite d'inégalité, soit dans la résistance du sol, soit dans leur propre tassement"¹. Polonceau propose donc l'utilisation d'un "nouvel enduit, participant des propriétés des bétons, avec lesquels il a beaucoup d'analogie, mais sur lesquels il a l'avantage de la flexibilité et d'une grande économie"² : le *béton gras* ou *béton flexible*, composé d'une partie de chaux éteinte, de 20 à 25 parties "d'argile délayée en bouillie claire"³, et de 80 à 100 parties de sable ou gravier, "selon que l'argile est plus ou moins grasse"⁴.

Les terrains de la première catégorie peuvent quant à eux être étanchés naturellement, comme l'avait pressenti Girard⁵. En effet :

"La pénétration des eaux [...] s'opère par une multitude de filets très-fins, et pour ainsi dire capillaires, qui s'insinuent entre les particules de terre ou de sable, et il résulte de la grande subdivision de ces filets, de leurs irrégularités, de leurs déviations et de leurs croisemens en tout sens, que les eaux pénètrent ces terrains lentement et sans vitesse, et que par cette raison, elles déposent dans la couche supérieure les substances qu'elles tiennent en suspension."⁶

Ainsi, si les eaux sont suffisamment calmes, ou si le canal est assez profond pour que le fond ne soit pas remué, les dépôts, le colmatage naturel peuvent-ils garantir l'ouvrage contre les fuites.

Enfin, lorsque le canal n'est pas parfaitement imperméable, les nappes souterraines ne peuvent aider à y maintenir le niveau de l'eau que si leur toit est à une hauteur supérieure à ce niveau ;

"mais [...] la constance dans la limite d'élévation de la nappe, malgré les tributs qu'elle reçoit constamment par les sources naturelles et par les filtrations des eaux pluviales, prouve avec évidence qu'à cette hauteur elle trouve un débouché souterrain par lequel s'écoule toute l'eau qui

¹. *Ibid.*, p. 36.

². *Ibid.*, p. 42.

³. *Ibid.*, p. 38.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Cf. supra*, chap. II, § II.1.1, c : "Le canal de l'Ourcq".

⁶. *Ibid.*, pp. 31-32.

tendrait à s'élever au-dessus de ce déversoir naturel, et il est facile de concevoir qu'un surhaussement artificiel, dans un bassin en communication avec cette nappe, loin de pouvoir se conserver, ne pourrait qu'augmenter, par addition de charge, la vitesse de l'écoulement souterrain."¹

Le rôle de la pression du fluide est facilement appréhendé par le principe des vases communicants.

b) Traitement des eaux

Parallèlement, l'évaluation de la ressource en eau amène dès les années 1810 Jardine, qui cherche les meilleures sources pour alimenter la ville d'Edimbourg, à estimer la masse d'eau que peut rendre la vallée². Mais l'eau la plus accessible est généralement celle de la rivière ou du fleuve qui arrose la ville : souvent trouble, son utilisation nécessite une filtration³ qui amène ingénieurs et architectes à s'intéresser aux modalités d'écoulement de l'eau dans le sol. En effet, malgré la faible part de la consommation domestique dans les volumes impliqués⁴, on cherche à doter les villes d'une eau potable.

A Toulouse — une des rares villes françaises à se doter d'un système de distribution d'eau dès la Restauration⁵, grâce au legs d'un capitoul —, les eaux de la Garonne qui doivent fournir quotidiennement 4 000 m³ à la ville n'échappent pas à la règle et ont besoin d'être clarifiées ; les difficultés rencontrées traduisent la problématique du moment en la matière. Le projet est soumis (vers 1820) à l'Académie des Sciences qui montre "que lorsque les eaux de la Garonne sont très-sales, on ne peut les purifier complètement qu'en les faisant passer successivement à travers 4 couches de gravier et de sable, ayant 4 pieds d'épaisseur chacune ; et que 1^m.4.00 de ces couches, supposées placées les unes sur les autres, ne clarifie que 20^m.c.00 en 24 heures"⁶. On se tourne alors vers la filtration naturelle, à travers "le banc d'alluvion que la rivière a déposé, depuis une cinquantaine d'années, [...] et qui est principalement composé de gravier et de

¹. *Ibid.*, p. 34.

². MASCLET, "Système hydraulique-économique de la ville d'Edinburgh", *Journal du Génie Civil* 8, 1830, pp. 441-462.

³. Nous n'aborderons pas la question des filtres au charbon qui relève uniquement de la problématique du traitement de l'eau et non de celle du comportement du sol.

⁴. Cf. *infra*, § III.3, "Le second plan de ville".

⁵. GOUBERT, *La conquête de l'eau : l'avènement de la santé à l'âge industriel*, Paris : R. Laffont, 1986, 3e partie, chap. 2 : "Le paysage se modifie".

⁶. D'AUBUISSON, "Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, p. 274.

sable entremêlés souvent de cailloux, et en quelques endroits d'un limon vaseux"¹. Mais quelle dimension donner à ce filtre ? Chaumont la détermine expérimentalement en creusant, à une trentaine de mètres de la Garonne (près du premier filtre, figure 42) une fosse de 3,10 mètres de profondeur sur 14 mètres de long et 8 mètres de large. "A l'aide d'une vis d'Archimède, il en épuisait l'eau ; il observait ensuite le temps qu'elle mettait à s'élever à une certaine hauteur, et il en concluait le produit de la masse filtrante circonvoisine : cette eau était d'ailleurs très-belle"². Les trois expériences ainsi réalisées conduisent à projeter une excavation elliptique de 33 mètres de long sur 23 mètres de large, "et dont le fond serait à 1^m.00 au-dessous du niveau des basses eaux de la rivière."³ La commission chargée par la ville d'évaluer les projets est bien consciente de l'insuffisance de ces expérimentations, car :

"il y avait peu de rapport entre le produit obtenu dans ces expériences, où le terrain, tout imprégné d'eau qui entourait l'excavation, était comme un réservoir qui les y versait dès la mise à sec, et le produit que l'on aurait, lorsque ce même terrain, desséché par un écoulement continu, ne fournirait plus dans le bassin, en un certain temps, que l'eau qui aurait pu filtrer durant ce temps à travers le massif de terre qui le séparait de la rivière."⁴

Néanmoins, on s'en tient là, faute d'une meilleure solution. Les présomptions de la commission s'avèrent fondées, puisque le filtre ne donne que 1 200 m³ par jour. Le bassin est donc agrandi pour occuper une superficie de 1 000 m² environ, "mais l'augmentation du produit fut loin d'être proportionnée à l'augmentation en étendue"⁵ : celle-ci est quadruplée, alors que le volume n'augmente que de moitié.

Il faut donc construire un deuxième filtre. Puisque le premier, situé à une quarantaine de mètres de la rivière, ne produit pas assez d'eau, on pense qu'en se rapprochant de la berge, le volume filtré sera plus élevé. Le nouveau filtre est en conséquence établi à une dizaine de mètres de la Garonne (figure 42). Sur le fond de la tranchée, "on éleva onze tours ou puits en brique, mais sans mortier, jusqu'à 1^m.00 ou 1^m.30 au-dessous de la surface du sol, et on les recouvrit de plaques en fonte : on joignit leurs pieds par des tuyaux, lesquels reposaient sur le fond de la tranchée : on jeta du gravier par-dessus, et le reste de l'excavation fut comblé avec de la terre qu'on en avait

¹. *Ibid.*, p. 273.

². *Ibid.*, pp. 274-275.

³. *Ibid.*, p. 275.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. *Ibid.*, p. 276.

retirée."¹ Les résultats sont très décevants puisque l'on n'obtient que 1 200 à 1 600 m³ d'eau par jour. En outre, l'eau est "fort médiocre"², chargée de vase, sa température suit de près celle de la rivière, une végétation aquatique s'y développe, elle oxyde les tuyaux de fonte. L'insuffisance des eaux conduit à construire un troisième filtre, selon les mêmes principes que le premier (figures 42 et 43). La combinaison des trois ouvrages donne un résultat satisfaisant, tant en quantité qu'en qualité, malgré la végétation aquatique dont quelques filaments atteignent le château d'eau. Mais la dépense est loin d'être négligeable : 140 000 francs (45 000 francs pour le premier filtre, 27 000 pour le deuxième et 68 000 pour le dernier) sur les 500 000 qu'a coûté l'adduction et sur le million dépensé au total³ (adduction et distribution). En outre, d'Aubuisson envisage un possible colmatage du filtre naturel, "si les petits canaux afférents contenus dans cette masse sablonneuse [...] venaient à s'obstruer"⁴ — l'image du canal est révélatrice.

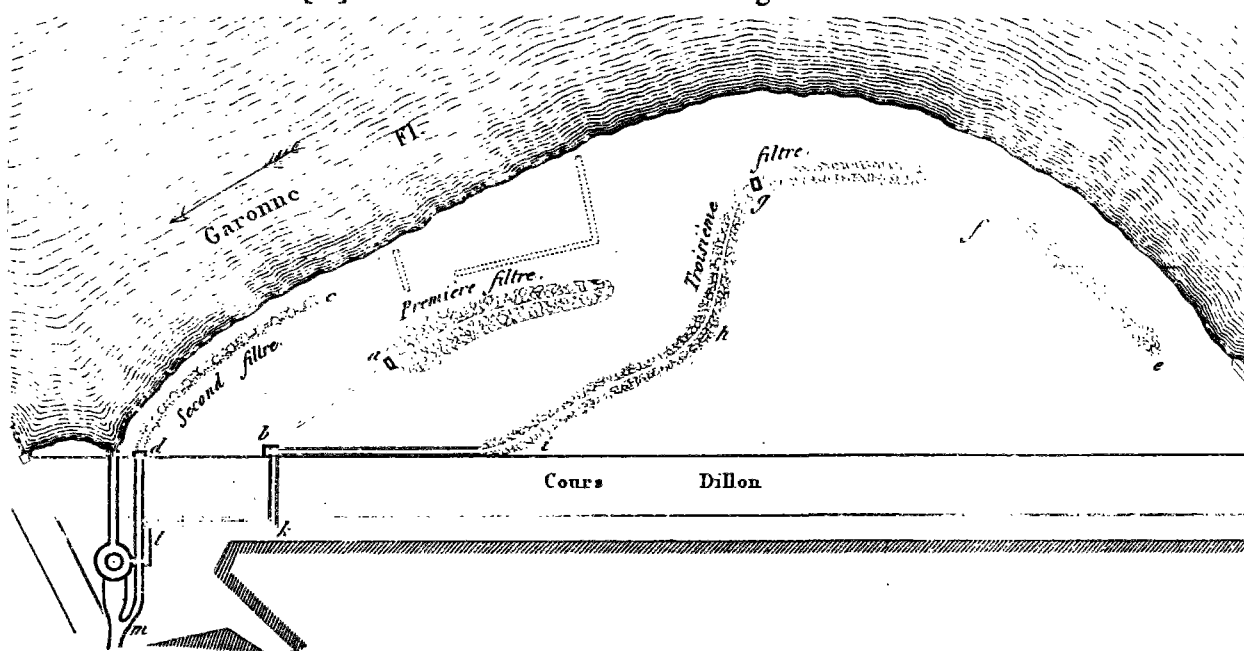


Figure 42. Plan de situation des filtres de Toulouse.

Les conduites abkl, dl, ib, amènent les eaux filtrées aux puisards des machines hydrauliques qui les élèveront dans le château d'eau.

Source : D'AUBUISSON, "Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse", A.P.C., 2e sem. 1838, pl. CLX, fig. 5.

¹. *Ibid.*, p. 279.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, p. 278, 280, 283, 286, 315. Le coût total est exactement de 1 083 648 francs, alors que d'Aubuisson l'avait estimé en 1820 à un million. *Ibid.*, p. 315.

C. Coupe du troisième filtre.

Fig. 6.

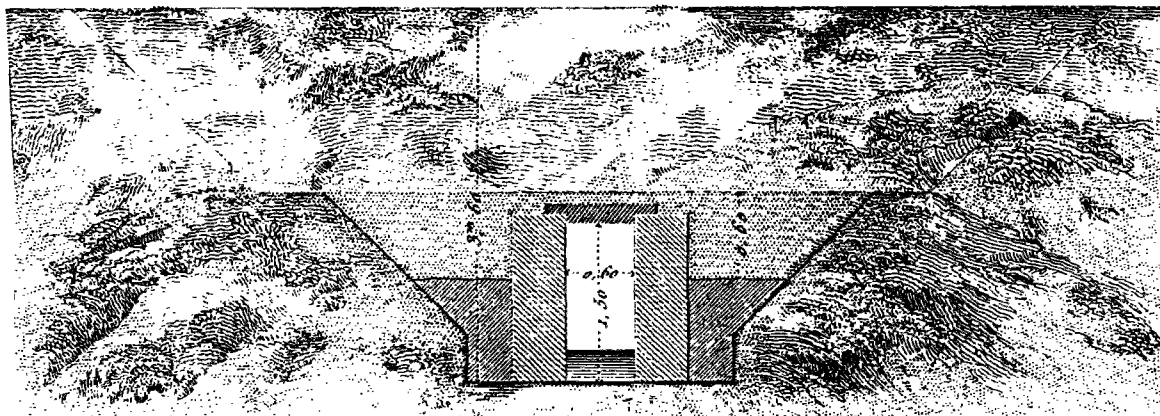


Figure 43. Coupe du troisième filtre de Toulouse.

Le premier bassin ayant été laissé à ciel ouvert, donc soumis à l'action des rayons solaires, se dégrade en une année : "la végétation y acquit une vigueur extrême ; les divers moyens employés pour la détruire furent sans effet : des reptiles s'y joignirent ; et ces plantes, ces animaux, en mourant et se putréfiant dans une eau tiède, la rendait très-mauvaise." (p. 277) On se résout à combler la fosse : après y avoir installé un aqueduc de briques — sans mortier — on la remplit "de gros cailloux bien lavés, jusqu'à la hauteur des moyennes eaux de la rivière." (p. 277) Puis on recouvre le tout de cailloux, de graviers et enfin de terre gazonnée. On a retenu la leçon pour la construction du troisième filtre : "on a établi une petite galerie consistant en deux murs de briques simplement superposées, et recouvertes en dalles de pierre : les dimensions en ont été réduites le plus possible (1m50 de hauteur et 0m60 de large) de manière à ne laisser que ce qui est strictement nécessaire au passage d'un jeune homme. L'espace compris entre la galerie et les parois de l'excavation est rempli de gros cailloux bien lavés ; au-dessus, on répand une couche de graviers de 0m66 d'épaisseur ; puis on comble avec de la terre sablonneuse extraite de la fouille, et on sème du gazon à la superficie" (p. 281).

Source : D'AUBUISSON, "Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse", A.P.C., 2e sem. 1838, pp. 276-277, 280-281, pl. CLX, fig. 6.

La clarification de l'eau est donc sujette à de nombreuses vicissitudes qui laissent les ingénieurs sceptiques. En ce qui concerne le débit, on voit que les Toulousains frôlent la réponse, mais leurs expériences sont bien trop succinctes et aléatoires pour la leur donner. Henry Darcy, lorsqu'il examine en 1833 les différentes possibilités pour amener l'eau à Dijon, est très réservé à l'égard de la filtration — donc de l'emploi des eaux de rivière — : les filtres naturels s'engorgent, comme à Glasgow, ils ne doivent pas être trop proches de la berge, comme à Toulouse ; les filtres artificiels peuvent n'être d'aucun effet : à Béziers où "le bassin circulaire qui sert de réservoir, et dans lequel l'eau doit se rendre filtrée, est entouré d'un second bassin annulaire rempli de sable, et qui reçoit directement le produit des pompes"¹, la couche filtrante n'est pas assez épaisse ; dans tous les cas il faut nettoyer le filtre, donc prévoir un écoulement possible dans les deux sens : c'est le cas à Greenock et à Paris (filtres projetés par Mallet). "J'ai cru devoir rentrer dans les détails précédents pour montrer combien était délicate l'opération de la purification des eaux ; les ingénieurs anglais en sont tellement pénétrés que toutes les fois qu'ils peuvent avoir recours aux eaux de source, ils conseillent aux compagnies de les employer, même avec un accroissement de dépense"², souligne Darcy qui, si le choix des eaux de rivière est fait pour Dijon, préconise la clarification naturelle à l'aide d'un puisard³, mais préfère nettement l'utilisation des eaux de source⁴.

Tableau 31. Rendement de différents filtres en service (1856).

Désignation des filtres	Superficie des filtres m ²	Epaisseur d'eau sur le filtre m	Quantité filtrée	
			totale m ³ /j	surfacique m ³ /m ² /j
Chelsea (Londres).....	8 040.....	1,25.....	44 000.....	5,5
Grand-Junction (Londres).....	600.....	1,0 à 1,25.....	18 000.....	3
Southwark et Vauxhall (Londres)	10 800.....	1,30.....	3 150.....	4
Lambeth : Thames Ditton (Londres)	2 880.....	2,50.....	22 500.....	8
Paisley (Ecosse).....	660.....	0,10 à 0,20.....	7 000.....	10
Marseille.....	8 800.....	0,40.....	114 000.....	13

D'après : DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon* (...), Paris, 1856, p. 570.

¹. H. DARCY, *Rapport à M. le Maire et au conseil municipal de Dijon sur les moyens de fournir l'eau nécessaire à cette ville*, Dijon, 1834, p. 102.

². *Ibid.*, p. 103.

³. *Ibid.*, loc. cit.

⁴. *Ibid.*, p. 118.

C'est pourtant bien l'étude de la filtration qui l'amènera à formuler sa loi de l'écoulement de l'eau dans les sables, bien qu'il précise : "j'avais entrevu ce curieux résultat dans mes recherches sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite de très-faible diamètre, lorsque la vitesse de l'eau ne dépasse pas 10 à 11 centimètres par seconde"¹.

Puisqu'on ne peut rien tirer de la comparaison des filtres existants (tableau 31), "attendu que la nature et l'épaisseur des sables de filtration ne sont point comparables, que les charges sont variables, que les eaux arrivent aux appareils à des degrés différents de limpidité"², il faut élaborer un protocole d'expérience qui permette d'évaluer le rôle de ces différents paramètres dans le rendement des filtres. Dans une portion de conduite (figure 44), Darcy place du sable siliceux de Saône, de granulométrie connue, présentant environ 38 % de vide³. En octobre et novembre 1855, il réalise une première série d'expériences : l'eau à la sortie du filtre est à la pression atmosphérique, l'épaisseur du sable et la pression d'entrée du fluide varient. Pour une épaisseur donnée, Darcy constate que le débit est proportionnel à la pression d'admission de l'eau et à "la charge proportionnelle par mètre d'épaisseur du filtre", notée I (tableau 32) ; à épaisseur variable, "les différences entre les valeurs du coefficient $\frac{Q}{I}$ proviennent de ce que la sable employé n'a pas été constamment homogène."⁴ Le tableau 33 montre néanmoins la dispersion des résultats. En février 1856, Darcy fait mener une nouvelle série de mesures avec une épaisseur de sable constante (1,10 m), mais en faisant varier les pressions inférieure (P_i) et supérieure (P_s) de l'eau ; pour une différence de pression variant de 2,98 à 13,08 m, le rapport $\frac{Q}{P_s - P_i}$ est compris entre 1,39 et 1,55 (moyenne de 1,45)⁵.

¹. DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon (...)*, Paris, 1856, p. 570.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. *Ibid.*, p. 591.

⁴. *Ibid.*, p. 593.

⁵. *Ibid.*, loc. cit.

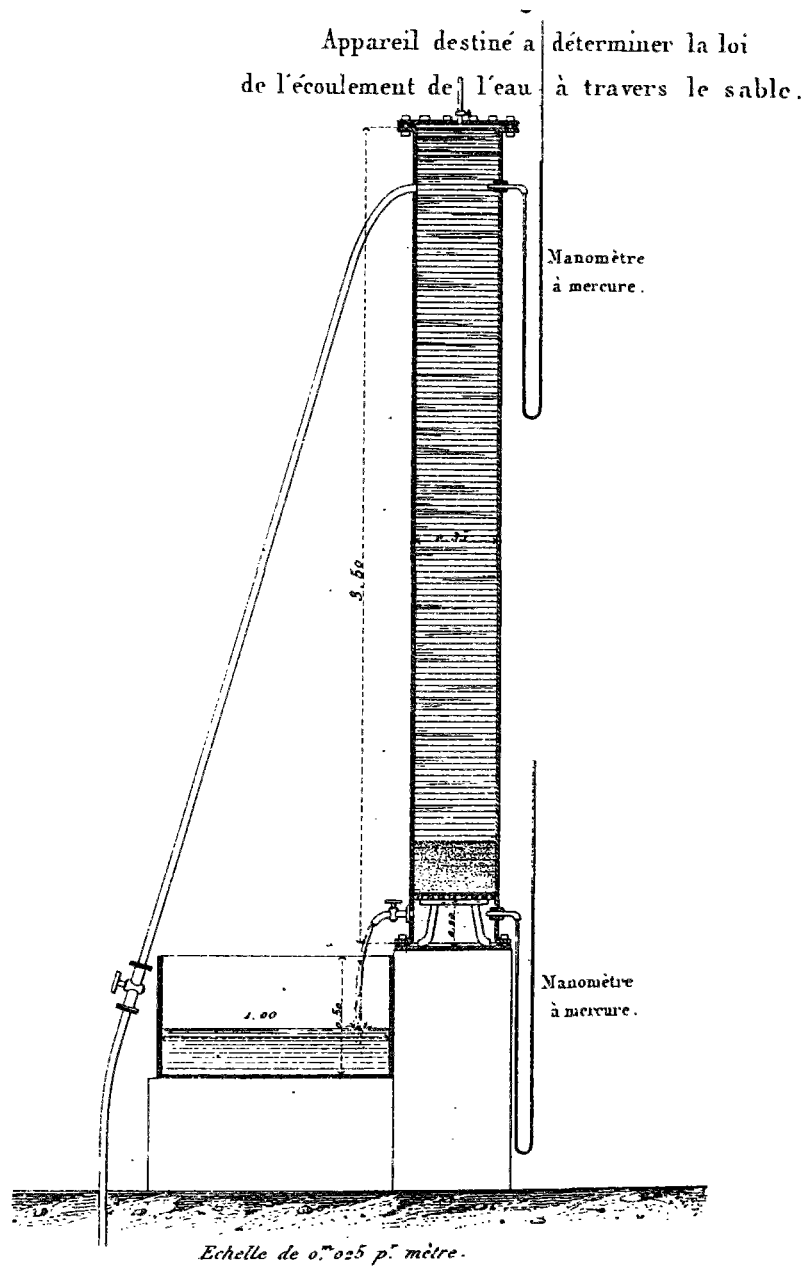


Figure 44. Appareil utilisé par Darcy pour mesurer le rendement des filtres (1855).

D'après : DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon (...)*, Paris, 1856, pp. 590-594, pl. 24, fig. 3.

Tableau 32. Expériences de Darcy à Dijon (1855) sur la filtration des sables.

La pression inférieure est égale à la pression atmosphérique, la colonne 3 donne le débit de sortie, la colonne 4 la pression de l'eau à l'entrée du filtre.

NUMÉROS de L'EXPÉRIENCE	DURÉE.	DÉBIT MOYEN par minute	PRESSIIONS moyennes.	RAPPORT entre LES VOLUMES ET LA PRESSION.	OBSERVATIONS.
1 ^{re} Série, avec une épaisseur de sable de 0 ^m 58.					
1	25'	3 ^m 60	4.41	3.25	Le sable n'a pas été lavé.
2	20'	7 65	2.36	3.24	
3	15'	12 00	4.00	3.00	La colonne manométrique n'a éprouvé que de faibles mouvements.
4	18'	14 28	4.90	2.94	
5	17'	15 20	5.02	3.03	
6	17'	21 80	7.63	2.86	
7	11'	23 41	8.13	2.88	Oscillations très-sensibles.
8	15'	24 50	8.58	2.85	
9	13'	27 80	9.86	2.82	Fortes oscillations manométriques.
10	10'	29 40	10.89	2.70	
2 ^{de} Série, avec une épaisseur de sable de 1 ^m 14.					
1	30'	2 66	2.60	1.01	Le sable n'est pas lavé.
2	24'	4 28	4.70	0.91	
3	26'	6 26	7.71	0.81	Très-fortes oscillations.
4	18'	8 60	10.34	0.83	
5	10'	8 90	10.75	0.83	
6	24'	10 40	12.34	0.84	
3 ^{de} Série, avec une épaisseur de sable de 1 ^m 71.					
1	31'	2 13	2.57	0.83	Sable lavé.
2	20'	3 90	5.09	0.77	
3	17'	7 25	9.46	0.76	Très-fortes oscillations.
4	20'	8 55	12.35	0.69	
4 ^{de} Série, avec une épaisseur de sable de 1 ^m 70.					
1	20'	5 25	6.98	0.75	Sable lavé d'un grain un peu plus gros que le précédent.
2	20'	7 00	9.95	0.70	
3	20'	10 30	13.93	0.74	Faibles oscillations par suite de l'obturation partielle de l'ouverture du manomét.

Source : DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon* (...), Paris, 1856, p. 592.

Tableau 33. Relations entre la pression d'admission de l'eau P (m), le débit surfacique à la sortie du filtre Q (l/s/m²), et la charge proportionnelle par mètre d'épaisseur du filtre I (1855).

Epaisseur de sable (m)	0,58	1,14	1,71	1,70
$\frac{Q}{P}$	0,493 (±10 %)	0,145 (±16 %)	0,126 (±10 %)	0,123 (±4 %)
$\frac{Q}{I}$	0,286	0,165	0,216	0,332

D'après : DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon* (...), Paris, 1856, pp. 592-593.

Ainsi, Darcy peut-il conclure que "le volume d'eau qui passe à travers une couche de sable d'une nature donnée est proportionnel à la pression et en raison inverse de l'épaisseur des couches traversées"¹ :

$$Q = \frac{k s}{e} (H + e + H_0)$$

où "*s* [est] la superficie d'un filtre, *k* un coefficient dépendant de la nature du sable, *e* l'épaisseur de la couche de sable, *P* - *H*₀ la pression sous la couche filtrante, *P* + *H* la pression atmosphérique augmentée de la hauteur d'eau sur le filtre"².

Darcy tire tout de suite les conséquences de cette loi, d'abord en ce qui concerne les filtres : plus la couche de sable sera fine et la différence de pression de l'eau entre l'entrée et la sortie élevée, meilleur sera le rendement. Or, du strict point de vue de la qualité de l'eau, une épaisseur de 30 à 40 cm est amplement suffisante :

"l'expérience apprend, en effet, qu'après le passage d'une grande quantité d'eau, très-chargée en matières étrangères en suspension, au travers d'une couche de sable, ces matières, quelque ténues qu'elles soient, ne pénètrent d'une façon notable qu'à 2 centimètres au maximum au-dessous de la surface de cette couche, et à 15 centimètres de cette même surface, il est impossible de découvrir la moindre souillure de ce sable."³

Reste donc à jouer sur la charge. Une pression de sortie inférieure à la pression atmosphérique n'est pas sans inconvénient en raison de la présence d'air dans l'eau : celui-ci se dégage dans le réservoir inférieur qui tend "peu à peu à se remplir d'air [...] la charge du filtre serait évidemment diminuée de toute la hauteur de l'espace où l'air se serait accumulé"⁴, en outre, on constate que "les bulles qui se dégagent, traversant les couches filtrantes, peuvent y occasionner des vides et par conséquent faire obstacle à la parfaite filtration de l'eau."⁵ Le filtre breveté travaille donc sous de fortes pressions d'entrée, le réservoir inférieur étant à la pression atmosphérique :

"Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'alimenter une ville de 100,000 âmes à raison de 150 litres par tête : il faudra par jour 15,000 mètres cubes d'eau, pour la filtration desquels, dans

1. *Ibid.*, p. 570.

2. *Ibid.*, *loc. cit.*

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

4. *Ibid.*, p. 577.

5. *Ibid.*, p. 578.

l'ancien système, où l'on n'obtient moyennement que 4 mètres cubes par jour et par mètre carré, une superficie de 4,000 mètres et même de 8,000 serait nécessaire si l'on voulait établir deux filtres, l'un fonctionnant pendant que l'autre est en réparation : or, on arrivera, dans mon système, à obtenir le même résultat en établissant deux cuves filtrantes de 14 mètres de diamètre et d'une hauteur de 7^m30, l'une fonctionnant pendant qu'on répare l'autre."¹

Grâce à sa formulation, Darcy peut aussi évaluer le débit des sources lorsqu'elles sont alimentées par des couches de sables aquifères².

Cependant, et malgré l'équation de Darcy — il faudrait connaître sa diffusion auprès des ingénieurs occupés de mécanique des sols —, la filtration n'a pas bonne presse. Eugène Belgrand la désapprouve, qu'elle soit naturelle ou artificielle, mais pour des raisons différentes :

"On a prétendu qu'on pouvait filtrer les eaux des rivières au moyen de galeries ouvertes dans les graviers des berges.

.....

"[...] On admet généralement, qu'en abaissant notablement le niveau de l'eau dans la tranchée, au-dessous de celui de la rivière, on fait un appel à l'eau de cette dernière, et qu'on obtient ainsi un filtrage naturel. Telle est l'opinion de plusieurs ingénieurs distingués, notamment de Darcy."³

Mais si Belgrand connaît les travaux de Darcy, il semble réfuter sa théorie, ou tout au moins son application aux bassins hydrographiques. En effet, ce n'est pas, selon Belgrand, la rivière qui alimente la galerie filtrante ; ses observations en témoignent : à Lyon, Toulouse, Fontainebleau, sur les rives de la Loire entre Cosne et Orléans, à Nevers, Blois, Ivry, Paris (quai d'Austerlitz) on constate que le niveau de l'eau des puits

¹. *Ibid.*, loc. cit.

². *Ibid.*, p. 595 sq.

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *Etudes préliminaires : la Seine, régime de la pluie, des sources, des eaux courantes ; applications à l'agriculture*, Paris, 1873, p. 463. Cet ouvrage achevé en 1865 qui sert d'introduction aux *Travaux souterrains de Paris* (cinq volumes en tout), bilan de l'œuvre de Belgrand, devait faire suite à *La Seine : I- Le Bassin Parisien aux âges antéhistoriques* (Paris, 1869, 1 vol. de texte, 2 vol. de planches), volume inaugural de l'"Histoire générale de Paris" (dont la publication se poursuit aujourd'hui sous le titre "Nouvelle histoire de Paris"). Des difficultés financières et les événements politiques en ont empêché la publication dans cette collection. En outre, de nombreuses pièces justificatives ont brûlé dans l'incendie de l'Hôtel de Ville — c'est grâce au manuscrit déposé à l'Académie des Sciences que Belgrand a pu le présenter sous la forme finalement imprimée. Ces faits sont précisés par Belgrand dans sa préface (pp. IV-XI).

est toujours plus élevé que celui de la rivière avoisinante, que les degrés hydrotimétriques diffèrent notablement, enfin que l'eau des galeries filtrantes, par son niveau comme par sa qualité, se rapproche plus de celle des puits que de celle de la rivière¹. Ce sont donc les nappes souterraines qui alimentent les galeries filtrantes, et non les rivières ; bien plus, ces résultats "prouvent que ces eaux souterraines et celles du cours d'eau n'ont pas la même origine."²

Les conséquences d'une telle analyse sont de deux ordres : d'une part elles montrent qu'il est impossible d'alimenter Paris en eau de la Seine par filtration naturelle — "L'eau qu'on obtient ainsi, est dure et impropre à tous les usages domestiques. Elle ne provient pas de la Seine, mais de la nappe souterraine"³, corrompue par les fosses d'aisances —, d'autre part, si les eaux souterraines sont de bonne qualité, les galeries fourniront une eau potable, mais la filtration n'y sera pour rien "puisque'elle ne reçoivent que des eaux naturellement limpides"⁴ ; d'ailleurs si elle s'opérait, le filtre s'engorgerait, comme dans le cas de la clarification artificielle, et c'est pourquoi "les galeries filtrantes de Lyon et de Toulouse [continuent] à fonctionner depuis si longtemps, sans aucune espèce de nettoyage."⁵

Le jugement que porte Belgrand sur les filtres artificiels n'est pas plus amène : "Tous laissent passer l'urine et d'autres produits azotés de la nature la plus répugnante."⁶ Or, les filtres français sont conçus sur le modèle anglais qui "détériore plus qu'il n'améliore la qualité de l'eau."⁷ S'ils semblent bien fonctionner outre-Manche, c'est parce que "les Anglais, dans leurs habitudes de propreté recherchée, tiennent surtout à avoir des eaux claires ; mais comme l'usage de la bière et des boissons chaudes ou sucrées, est à peu près général dans la population anglaise, on tient beaucoup moins à Londres qu'à Paris, à ce que l'eau distribuée soit agréable à boire."⁸ Paris sera donc approvisionné en

1. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, pp. 464-468.

2. *Ibid.*, p. 98.

3. *Ibid.*, p. 468.

4. *Ibid.*, p. 469.

5. *Ibid.*, *loc. cit.*

6. *Ibid.*, p. 474.

7. *Ibid.*, p. 475.

8. *Ibid.*, p. 471.

eaux de source¹, "seules eaux qui puissent être distribuées avec sécurité et sans préoccupation de l'avenir"².

c) *Hydrologie*

Les considérations de Belgrand sur la filtration des eaux s'intègrent dans une théorie plus vaste : Belgrand veut participer à l'élaboration d'une nouvelle discipline, l'*hydrologie*³, "application de la géologie à l'art de l'ingénieur et de l'agriculteur"⁴, selon ses propres termes. Ses vues ne sont pas toujours novatrices ni justes — nous l'avons vu dans le cas de la filtration —, mais, basées uniquement sur la distinction entre terrains perméables et imperméables, "sans laquelle il est absolument impossible d'étudier les eaux courantes"⁵, traduisent la perception de l'espace par l'ingénieur. Il est inutile de rappeler qu'issu de l'école des Ponts et Chaussées, Belgrand est appelé à Paris par Haussmann en 1854 afin de distribuer et d'évacuer les eaux de Paris : c'est donc sa conception qu'il mettra en œuvre — même s'il est parfois difficile de savoir qui d'Haussmann ou de Belgrand a fait les choix décisifs pour la capitale⁶.

Belgrand explique que ses vues lui viennent de 1832, alors qu'il était élève-ingénieur en Côte-d'Or :

"On ne faisait pas alors de bien grands travaux et l'on m'avait chargé de diriger la construction d'un petit pont de trois arches sur la rivière de Brenne, à Vitteaux-en-Auxois. Pendant mon séjour dans cette ville, je fus témoin d'un de ces phénomènes météorologiques, qui ne s'effacent point de la mémoire : à la suite d'une forte pluie d'orage, qui dura moins d'une heure, je vis les eaux pluviales ruisseler de toute part, à la surface des coteaux qui bordent la vallée. En un

¹. En outre, Haussmann était partisan de cette solution dont il s'attribue — peut-être à juste titre — la paternité : "Quant à l'idée, bien simple, de puiser directement les eaux à dériver dans les sources alimentant les rivières plutôt que dans le lit de celles-ci, jamais elle n'était venue à personne, malgré l'exemple de l'aqueduc d'Arcueil, remontant à l'Empereur Julien." (*Mémoires du Baron Haussmann*, vol. 2, *Grands travaux de Paris*, rééd., Paris : Guy Durier, [1979], p. 40). Il ne faut pas oublier le précédent marseillais (GOUBERT, *op. cit.*, p. 204).

². BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 488.

³. Bien que Belgrand considère le mot comme nouveau, le *Robert* le fait remonter à 1614.

⁴. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. I.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁶. Haussmann, évoquant les eaux de Paris, écrit : "J'insiste avec prédilection sur cette œuvre considérable [...] pour la raison qu'elle est bien mienne. [...] Certes, je n'entends pas atténuer les droits acquis par M. Belgrand à la reconnaissance publique. [...] Mais on est tellement enclin, chez nous, à porter exclusivement toute grande œuvre au crédit de celui qu'on a vu l'accomplir matériellement, qu'il me faut bien revendiquer «mes droits d'auteur»". *Mémoires du baron Haussmann*, vol. 2, *op. cit.*, pp. 8-9.

instant, la Brenne éprouva une crue énorme, qui s'éleva au-dessus du niveau des parapets du pont que nous construisions. Ce pont en remplaçait un autre beaucoup plus petit, qui avait été emporté par une crue ; on avait calculé le nouveau débouché, d'après les règles les plus larges admises alors ; et cependant, il était évident pour moi qu'on était resté bien au-dessous des dimensions nécessaires."¹

En effet, le cours de construction de Navier et Brisson dispensé à l'école ne tient compte, pour le dimensionnement des ponts relativement aux crues — donc pour l'établissement du débouché mouillé, "section, sous ce pont, de la plus grande crue connue du cours d'eau"² — que de l'étendue et de la hauteur des versants encadrant le pont. De son expérience, Belgrand conclut qu'"un ingénieur des ponts et chaussées devait être *non-seulement géomètre, mais encore géologue*"³, il doit savoir distinguer le terrain perméable de celui qui ne l'est pas — bien qu'"il n'y [ait] pas de terrain complètement imperméable"⁴ —, au risque de mal dimensionner les ouvrages. Mais alors que Darcy analyse le mouvement de l'eau dans le sol au laboratoire, Belgrand étudie la perméabilité en technicien. En effet, comment, selon lui, déterminer le degré de perméabilité d'un sol ? Quatre méthodes sont possibles : par le débouché mouillé des ponts, par la position des cours d'eau, par la forme de la courbe des crues, enfin par le développement de la culture des prairies.

En effet, le débouché mouillé des ponts traduit la quantité d'eau qui, en temps de pluie, est drainée vers le thalweg ; plus le terrain est perméable, plus le débouché est faible, une grande partie de l'eau s'infiltrant dans le sol. Bien plus, Belgrand introduit la notion de débouché mouillé kilométrique, rapport du débouché mouillé du pont (m^2) à la surface des versants drainés (km^2)⁵ : celui des ponts construits en terrain imperméable peut dépasser l'unité, alors que celui des terrains perméables est la plupart du temps inférieur au dixième (tableau 34). De même, "lorsque le terrain est imperméable, chaque sillon, en temps de pluie, devient un ruisseau, chaque pli du sol un torrent, le fond de chaque vallée une rivière ou même un fleuve. *Les cours d'eau sont donc très-nombreux*."⁶ La consultation d'une carte permet de définir, par l'abondance ou la rareté des rivières, la perméabilité du sol ; *in situ*, on distingue les cours d'eau tranquille, qui

¹. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, pp. II-III.

². *Ibid.*, p. 350.

³. *Ibid.*, p. IV.

⁴. *Ibid.*, p. 89.

⁵. *Ibid.*, p. 350.

⁶. *Ibid.*, p. 71.

caractérisent les terrains perméables¹, des torrents, propres aux zones imperméables². Les crues sont plus rapides et plus amples dans les terrains imperméables : un graphique suffit à les caractériser. Dernière possibilité, l'examen de l'agriculture locale. En effet, "lorsque le terrain est imperméable, les prairies naturelles se montrent partout [...] ; on sait que ce genre de culture exige un état d'humidité du sol pour ainsi dire permanent ; or un terrain imperméable est naturellement plus frais qu'un terrain perméable"³. De cette quadruple approche il peut conclure que le bassin de la Seine est constitué de 59 210 km² de terrains perméables et de 19 440 km² de terrains imperméables, "cette surface se divise en deux, l'une de 9 705 kilom. q., comprend les terrains actifs, tels que le granite, le lias, le terrain crétacé inférieur, qui ont une grande influence sur les crues, l'autre de 9 735 kilom. q., comprend les terrains neutres, tels que les argiles de Brie, du Gâtinais, etc., qui, trop plats, donnent peu d'eau aux rivières."⁴

Le raisonnement de Belgrand peut paraître simpliste, il se veut opérationnel et n'a rien à envier à la formule de Caquot⁵. A sa décharge, soulignons qu'il ne s'arrête pas à cette simple distinction entre deux catégories de terrains mais admet une gradation du perméable à l'imperméable. En outre, il reconnaît que la nature de l'intempérie a sa part dans l'écoulement de l'eau — ainsi, après une trombe, "le ruissellement des eaux pluviales est toujours considérable [...], quelle que soit d'ailleurs la perméabilité du sol"⁶ — et que le temps joue un rôle important dans le comportement des sols, pour lesquels il

1. *Ibid.*, p. 86.

2. *Ibid.*, p. 85.

3. *Ibid.*, p. 74.

4. *Ibid.*, p. 277.

5. Formule proposée par Albert Caquot en 1941 pour calculer le débit d'eaux pluviales Q à l'exutoire d'un bassin versant qu'il faut retenir pour le dimensionnement des réseaux d'assainissement. Cette formule prend en compte la nature du bassin (surface, pente, imperméabilisation) et la complexité des phénomènes pluviométriques : en effet, l'eau se rend vers l'exutoire plus ou moins rapidement suivant la distance qu'elle a à parcourir. Elle a été appliquée dans un grand nombre de villes françaises car elle est reprise dans la circulaire CG 1333 (*Instruction relative à l'assainissement des agglomérations*, Paris, 1949) qui fixe les modalités d'assainissement des villes et ne sera critiquée qu'à partir de 1965. En effet, quoique complexe, la formulation repose sur les seules observations faites par Caquot à Troyes entre 1905 et 1912, et ses coefficients en sont définis selon la pluviométrie parisienne (il seront corrigés par la formule de Montpellier qui, comme son nom l'indique, prend en compte la pluviométrie languedocienne) ; en outre, le calcul s'adapte mal aux grands ensembles et le réseau qui en résulte ne permet pas d'extension urbaine à l'amont. G. DUPUY, G. KNAEBEL, *Assainir la ville hier et aujourd'hui*, Paris : Dunod, 1982, p. 28 sq. On trouvera une analyse critique de la méthode de Caquot et des divers modèles utilisés aujourd'hui dans le *Mémento sur l'évacuation des eaux pluviales*, Paris : Documentation Française, 1989, chap. 3, § 2 : "L'utilisation des modèles".

6. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 351.

distingue le *point de saturation*, "état d'imbibition des terrains perméables, au moment où les eaux pluviales commencent à profiter aux nappes souterraines"¹, et le *point de ruissellement*, "état d'imbibition des terrains imperméables, au moment où les eaux pluviales commencent à ruisseler à leur surface."²

Pour Belgrand, la topographie et le régime des eaux sont dictés par la propriété du sol de laisser ou non filtrer l'eau³ : cette analyse annonce les formulations de dimensionnement des égouts du XXe siècle, pour lesquelles il suffit d'effectuer un changement d'échelle. En effet, Belgrand analyse la circulation des eaux sur l'ensemble du bassin de la Seine, afin d'examiner la manière dont les crues locales se combinent pour donner les crues parisiennes (c'est à Paris que la crue prend sa forme définitive, selon Belgrand), compte tenu de la nature des terrains, des distances à parcourir, etc.

¹. *Ibid.*, p. 262.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. Il en déduit aussi les meilleures activités agricoles à développer dans la région. *Ibid.*, 2e partie : "Application des études qui précèdent à l'agriculture".

Tableau 34. Débouché mouillé kilométrique des ponts du bassin de la Seine suivant la nature des terrains traversés (1873).

TERRAINS IMPERMÉABLES.

Petits cours d'eau (jusqu'à 70 kilomètres carrés de versant.)

	MÈTRES CARRÉS.	
Terrain granitique.	de 0,37 à 0,79	
Lias, terrains plats et à faibles pentes.	0,50	0,67
Lias, terrains plus accidentés, à fortes pentes.	0,84	1,36
Ces débouchés des ponts du lias sont faibles ; ils devraient être portés à 0,87 et 1,50		
Terrain crétacé inférieur suivant que le terrain est sablonneux ou argileux.	0,22	1,25
Marnes kimmériennes de Lorraine.	0,41	0,83
Argiles à meulière de Brie :		
Parties où les vallées sont rapprochées les unes des autres.	0,19	1,00
Grands plateaux sans pente.		0,04
Calcaires de Brie demi-perméables.	0,08	0,21
Plateaux du Gâtinais :		
Parties dépourvues d'étangs.	0,09	0,46
Parties à étangs.	0,05	0,16

Cours d'eau moyens de 70 à 1000 kilomètres carrés de versant.

	MÈTRES CARRÉS.	
Granite.	de 0,17 à 0,24	
Trop faibles, devraient être portés de 0,23 à 0,30.		
Lias.	0,26	0,40
Terrain crétacé inférieur.	0,12	0,35
Marnes kimmériennes de la Lorraine.		0,47
Argiles à meulière de Brie. {	Parties accidentées.	0,30
	Grands plateaux.	0,00

TERRAINS PERMÉABLES.

Petits et moyens cours d'eau.

Terrains oolithiques marneux de la basse Bourgogne, demi-perméables.	0,00	0,24
Terrains oolithiques perméables, vallées sans sources.	0,00	0,01
— vallées avec très-faibles sources.	0,00	0,08
Craie blanche, vallées sans sources.		0,00
— vallées débouchant dans des marais.	0,00	0,17
Calcaire grossier, plateaux du Gâtinais et du Vexin		0,00
Terrains compris entre le calcaire grossier et les marnes vertes. Vallées à petites sources.		
Sable de Fontainebleau, calcaire de Beauce.	0,01	0,10
Grands plateaux inoneux de la Picardie et de la Normandie, drainés par la craie.		0,00

Source : E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *Etudes préliminaires : la Seine (...)*, Paris, 1873, pp. 375-376.

III.2.2. LA COMPRESSIBILITÉ

a) *Compressibilité et rotation*

L'étude de la poussée des terres, qui a motivé les premières recherches en mécanique des sols, n'est bien entendu pas oubliée : au lendemain des Cent Jours, la théorie de Coulomb, trop engagé politiquement, est dans un premier temps déchu¹. Persy en souligne les défauts dans le cours qu'il professe à l'école du Génie de Metz :

"quant à la rigueur des raisonnements et à la simplicité des calculs : on avait formellement confondu le prisme d'éboulement et celui de la plus grande poussée, qui sont très distincts l'un de l'autre ; les transformations par lesquelles on arrivait aux formules de cas général [...] sont fort longues et deviennent impraticables par leur prolixité, lorsqu'on veut tenir compte du frottement et de l'adhérence sur le parement intérieur du mur [...] ; la hauteur à laquelle des terres occupées suivant un plan donné, peuvent se soutenir d'elles-mêmes, était déterminée par la considération du talus de la plus grande poussée perpendiculaire à ce plan, tandis qu'il faut considérer le talus de la plus grande poussée parallèle à ce même talus ; enfin on opposait à la résistance du mur le prisme de la plus grande poussée des terres, au lieu du prisme du plus grand moment de la poussée, qui pourrait n'être pas le même que le premier et qui n'est évidemment identique avec celui-ci, que dans le cas particulier traité par Coulomb".²

Français critique l'électricien qui a étudié le frottement "d'éléments incompressibles fortement cohérents ou élastiques, des bois et des métaux sur des surfaces horizontales et distinctes avant le commencement du mouvement"³ et pense qu'"il faut au contraire travailler sur un solide qui se forme dans une masse non divisée, homogène, compressible et qui se meut sur un plan incliné"⁴, mais il se base sur sa théorie et dénonce le traité de Mayniel comme rempli d'erreurs⁵. *L'Analyse-modèle des prix des différentes*

¹. Comme en témoignent les dimensionnements adoptés par les ingénieurs : le rapport de l'épaisseur du mur à sa hauteur, supérieur à 0,4 jusqu'en 1788-1789, peut être inférieur à 0,38 jusqu'en 1820 où il remonte à 0,4 et plus, d'après les exemples donnés par Gayant. GAYANT, "Épaisseur des murs de revêtement. Mur de l'arrière-port de Dieppe", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 63-64.

². N. PERSY, *Cours sur la stabilité des constructions à l'usage des élèves de l'Ecole royale de l'artillerie et du génie*, Metz, 1825, p. 4.

³. FRANÇAIS, *Recherches sur la poussée des terres*, 1817, Bibliothèque de l'E.N.P.C., ms 820.

⁴. *Ibid.*

⁵. FRANÇAIS, "Mémoire sur la poussée des terres, la forme et les dimensions des murs de revêtement et sur les talus d'excavation", *M.O.G.* 4, p. 178 sq.

natures d'ouvrages à exécuter dans les travaux dépendant du service du Génie, texte abondamment commenté par le colonel P. Bergère¹ et qui vise à une normalisation des procédés de construction, ne propose aucune formule de dimensionnement des murs de soutènement. Ne sachant plus à quel saint se vouer, on réhabilite Vauban. Henri Navier propose une formule simple, dans laquelle la poussée des terres est une nouvelle fois assimilée à celle d'un fluide², qui est adoptée faute de mieux malgré les surdimensionnements qu'elle entraîne. Enfin, Poncelet, professeur à Metz puis membre de l'Académie des Sciences en 1834, se lance dans la rédaction d'un "Mémoire sur la stabilité des revêtements et de leurs fondations"³ commandé par le Comité des Fortifications. Les recherches l'occupent quatre ans et résolvent, avec pour seuls outils la règle et le compas, les problèmes militaires de la mécanique des sols, elles réhabilitent Coulomb tout en attribuant à Vauban la paternité de la poussée des terres.

En effet, un des principaux reproches que l'on fait à Coulomb, outre ceux qu'avait déjà suscités sa théorie, est l'oubli du sol de fondation, dont il a négligé la compressibilité, un des soucis de Vauban⁴. Le directeur des fortifications Lambel soulève le lièvre en 1816, date à laquelle il envoie son mémoire — publié en 1822 — au ministre de la guerre⁵. Poncelet résume le problème en ces termes :

"C'est un principe généralement admis par les constructeurs, que, dans les terrains *compressibles*, la charge doit être uniformément répartie sur la base horizontale des fondations, au moyen d'empâtements convenablement disposés. Ce principe suppose implicitement que l'action des parties supérieures soit verticale ou simplement due à leurs poids respectifs, et que le sol, lui-même, soit homogène ; mais il ne saurait s'appliquer au cas des revêtements et des piédroits isolés

¹. *Notes sur le devis : observations sur l'analyse des prix des différentes ouvrages dépendant du service du Génie*, s. l., 1828.

². H. NAVIER, *Résumé des leçons données à l'Ecole royale des Ponts et Chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines*, Paris, 1826, 2e partie, pp. 121-176.

³. PONCELET, "Mémoire sur la stabilité des revêtements et de leurs fondations", *M.O.G.* 13, 1840, pp. 7-270.

⁴. PONCELET, *op. cit.*, p. 180.

⁵. LAMBEL, *Applications du principe des vitesses virtuelles à la poussée des terres et des voûtes, renfermant un nouveau principe de stabilité, duquel on a déduit des moyens de construire, avec moins de dépense, les voûtes et les revêtements actuellement en usage, principalement dans les constructions militaires, en augmentant leur utilité, leur stabilité et leur durée*, Metz, 1822, p. 45. "M. le colonel du génie Lambel [...], en appelant, le premier, l'attention des ingénieurs sur ce sujet"..., écrit Poncelet (*op. cit.*, p. 179). Dès 1825, Persy (*op. cit.*, p. 34) évoque la question dans son cours.

des voûtes, soumis à l'action latérale de la poussée, puisqu'il en résulte une cause puissante d'inégalité de pression sur la base des fondations."¹

Coulomb n'a donc étudié que la première condition d'équilibre des murs de soutènement, celle qui lie le mur au talus, oubliant la seconde, qui traduit la relation entre le mur et le talus d'une part, le sol de fondation d'autre part. Or, explique Lambel, suite aux dégradations connues par les fortifications à la Vauban, on a dans un premier temps diminué le talus et augmenté l'épaisseur des murs,

"mais [...] il en est résulté que dans les terrains compressibles, quelque considérable qu'ait été cette augmentation, elle n'a pu empêcher les murs de sortir plus ou moins de leur aplomb primitif ; parce que la diminution des talus ayant rapproché les verticales passant par le centre de gravité de la masse du revêtement et par celui de la surface des fondations, l'action latérale de la poussée n'a plus trouvé qu'un faible obstacle à surmonter, pour faire enfoncer, dans les terrains compressibles, l'arête extérieure du revêtement au dessous de l'arête intérieure."²

Tout se résume à une question de rotation, qui sera encore une fois étudiée par le biais de l'hydraulique. D'ailleurs le terme même de compressibilité est ambigu puisqu'il sert aussi bien à caractériser le terrain susceptible d'enfoncement que la variation de la pression d'un fluide : le piézomètre, mis au point en 1822 par H. C. Oersted en même temps que la ligne piézométrique, n'est-il pas un "instrument pour mesurer la compressibilité de l'eau"³ ? Lambel a donc

"considéré, dans l'intérêt de la stabilité, les terrains homogènes et compressibles, comme des fluides qui céderaient de même, si on leur supposait une densité telle qu'un revêtement d'un poids donné s'enfoncerait également dans l'un et dans l'autre, et il a basé sur les principes de la stabilité des corps flottants, l'équation d'équilibre des pressions latérales qui ont lieu sur la surface des fondations. Un corps flottant sur un fluide quelconque et qui s'y enfoncerait sans s'y incliner d'aucun côté, agirait de la même manière sur un terrain compressible et homogène, avec d'autant plus de raison, que la résistance des terrains à la compression croît progressivement, tandis que celle des fluides ne croît que proportionnellement."⁴

¹. PONCELET, *op. cit.*, pp. 178-179.

². LAMBEL, *op. cit.*, p. 5.

³. H. C. OERSTED, "Construction du piézomètre, instrument pour mesurer la compressibilité de l'eau", *Annales de chimie*, 2e série, vol. 16, 1821, p. 321.

⁴. LAMBEL, *op. cit.*, p. 7.

Dans le cas des fortifications, l'étude de la compressibilité revient à étudier le déplacement d'un fluide dans lequel repose un solide, donc un tirant d'eau, et non une réduction de volume du sol de fondation sous l'action d'une charge.

Les travaux de Lambel trouvent aussi un écho pour les fondations d'édifices. Navier, dans la partie de son cours consacrée aux fondations sur sol compressible, estime que "l'inconvénient qui en résulte est moindre si le mur, par l'effet de la compressibilité du terrain, s'abaisse verticalement, sans pencher d'un côté ou de l'autre"¹, et ne traite par la suite que du déversement du mur, en supposant, comme Lambel², que le terrain est uniformément compressible, et, comme tous ses contemporains, que la transmission des charges est, elle aussi, uniforme dans le sol. Poncelet souligne que la stabilité relativement au glissement et à la rotation suffit "pour assurer la stabilité dans tous les sens, puisque les réactions verticales du sol sont censées capables de détruire les composantes parallèles des forces données, moyennant une légère dépression, un léger tassement de ce sol, qui, par hypothèse, n'offre aucun danger."³ Il étudie le sous-sol comme le remblai de la fortification, c'est-à-dire par la poussée et la butée — concept dont nous lui sommes redevables⁴ — et distingue "la compressibilité proprement dite [qui] ne saurait être admise dans le cas de terres parfaitement rassises et sans vides"⁵ du gonflement ou du retrait qui peut affecter les terres vaseuses et savonneuses, car "leur réduction de volume tient à une cause indépendante des pressions [la dessiccation], et qui ne peut exercer aucune influence sur le sol des fondations, toujours humide et soustrait aux variations de température extérieure."⁶ Cependant, Poncelet le rapporte lui même, les fortifications des places d'Ypres et de Bergues ont été sujettes à des dégradations, précisément en raison du gonflement du sol de fondation constitué de "marnes dont la propriété absorbante tient à la chaux et à l'onctuosité de l'alumine [...] qui agissent de bas en haut à la manière des liquides"⁷.

¹. NAVIER, *op. cit.*, 1ère partie, p. 120.

². LAMBEL, *op. cit.*, p. 6.

³. PONCELET, *op. cit.*, p. 185.

⁴. *Ibid.*, pp. 101-102.

⁵. *Ibid.*, p. 204.

⁶. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁷. *Ibid.*, p. 181.

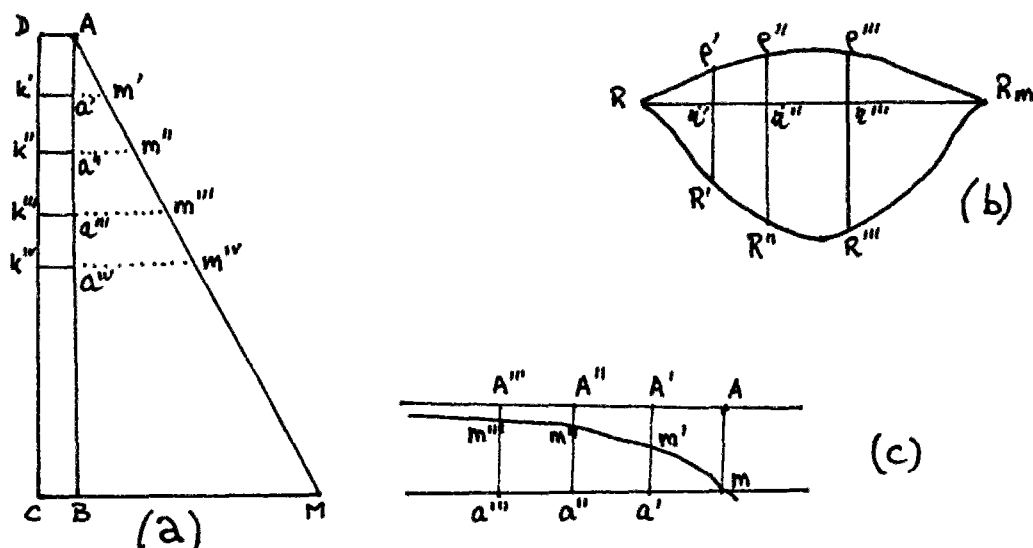


Figure 45. Evaluation géométrique du tassement des terres de remblai.

• Fig. 47a : On admet que tassement de chaque partie du terrain est proportionnel à la hauteur de terre dont cette partie est chargée. "Soit ABCD cette tranche ; divisons-la par des sections horizontales infiniment voisines, k'a', k''a'', k'''a''', etc. Sur le prolongement de chaque section, marquons des longueurs, a'm', a''m'', a'''m''', etc. qui, respectivement, soient proportionnelles aux pressions produites par Aa'k'D, Aa''k''D, Aa'''k'''D, etc., sur l'élément immédiatement inférieur. Il est évident que la somme des tassements sera représentée par la somme des lignes a'm', a''m'', a'''m''', etc." (pp. 157-158) Mais le tassement d'un élément est proportionnel à sa hauteur, "Il faut donc multiplier la somme des am, a'm', a''m'' ..., par le facteur constant Aa', a'a'', a'a'''. Ce produit est la surface du triangle rectangle ABM." (p. 158) On peut donc écrire :

$$\frac{\text{tassement total}}{\text{tassement de Aa'''k'''D}} = \frac{\text{surface ABM}}{\text{surface Aa'''m'''}} = \frac{AB^2}{Aa'''^2}$$

"Ainsi, le tassement des terres serait proportionnel au carré des hauteurs du remblai." (p. 158)

• Fig. 47b : "Si l'on connaissait le tassement d'une couche de terre ayant un mètre de hauteur, pour un même temps et dans les mêmes circonstances, le tassement d'une couche quelconque serait connu. Si l'on voulait qu'au bout de ce temps, les terres du remblai prissent la figure RR'R''...R^m r'' r' r'' il faudrait remplir de terre un espace RR'R''R'''...R^m p'' p' p'' tel que les hauteurs r'p', r''p'', r'''p''', etc. fussent entr'elles comme les carrés R'r'^2, R''r''^2, R'''r'''^2, etc." (p. 158)

• Fig. 47c : "Il est évident que la loi d'après laquelle nous venons d'évaluer les tassements, n'est pas celle de la nature ; car en la suivant, on pourrait concevoir une tranche de terre assez haute pour que le tassement de la partie inférieure de la tranche, devînt égal au propre volume de cette partie ; ce qui serait absurde. On pourrait beaucoup mieux représenter les tassements par les ordonnées d'une courbe hyperbolique dont les abscisses prises sur une droite ma'a''a''..., égaleraient la hauteur des couches de terre soumises au tassement. De manière que, pour une charge infinie, le tassement fût représenté par mA ; et, que pour des hauteurs ma', ma''... le tassement fût représenté par a'm', a''m'', a'''m'''. Dans tous les cas, on porterait les hauteurs R'r', R''r'', R'''r''' (fig. 47b), à partir du point m et sur la ligne des abscisses (fig. 47c) ; on élèverait les ordonnées a'm', a''m'', etc., correspondantes, pour les porter respectivement en r'p', r''p'', etc. (fig. 47b), et l'on aurait le contour Rp'p''p'''... qu'il faut donner à la partie supérieure du remblai." (pp. 158-159)

D'après : C. DUPIN, *Applications de géométrie et de mécanique, à la marine, aux ponts et chaussées, etc. pour faire suite aux développements de géométrie*, Paris, 1822, pp. 157-159, pl. XIII, fig. 22-24.

Pour Poncelet, comme pour le corps du Génie en général, la géométrie est l'outil par excellence du dessin de fortification et de la mécanique des sols. Mais si elle est très opératoire pour traiter les questions de défilement et de poussée des terres, elle s'applique mal à l'étude du tassement, d'où son éviction de la problématique. La seule tentative géométrique en la matière est due à Charles Dupin lorsqu'il essaye de déterminer le volume de terres à employer dans un remblai compte tenu du tassement à venir (figure 45) — "il faut un temps bien considérable pour qu'un tassement complet soit opéré"¹ — mais elle aura, semble-t-il, peu d'écho.

En outre, la définition de la compressibilité d'un sol n'est pas fixée. Bergère rapporte que :

"M. Vicat a éprouvé, lors de la construction du pont de Souillac, qu'un fond de gravier mobile était compressible, non que ses éléments fussent susceptibles d'être comprimés, mais parce qu'une grande pression peut déterminer un mode de juxta-position ou d'emboîtement qui rend la somme des interstices ou espaces vides moindre qu'elle était auparavant."²

A l'approche hydraulicienne se substitue ici celle de la résistance des matériaux et de la force portante des pierres³ : quelle que soit la solution proposée, le sol est assimilé à l'une de ses phases.

b) Répartir la charge ou resserrer le terrain ?

Dès la Restauration, la remise en cause du damage, la diffusion du béton, la découverte du sable et la distinction de deux types de pilotage amènent à définir deux moyens de lutte contre les sols compressibles : le resserrement du terrain ou la répartition de la charge sans modification notable du sol.

En 1827, Bernard, lorsqu'il expose les méthodes de construction adoptées pour les deux nouveaux bassins de radoub de Toulon dont il a la charge, remet fortement en question le damage tel que préconisé par Rondelet. Fort du précédent fâcheux que constitue le bassin de Groignard, Bernard adopte sans réserve le pilotage qui a fait ses preuves dans la construction des cales couvertes du port : sur les cinquante-six piliers qui

¹. C. DUPIN, *Applications de géométrie et de mécanique, à la marine, aux ponts et chaussées, etc. pour faire suite aux développements de géométrie*, Paris, 1822, p. 157.

². *Notes sur le devis (...), op. cit.*, p. 84.

³. Que Louis Vicat aura d'ailleurs l'occasion d'évoquer dans le cas du béton. Voir par exemple : L. VICAT, "Observations sur les causes de la compression dont les mortiers ou cimens calcaires sont susceptibles", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 257-260.

les soutiennent, trente-deux sont fondés sur pilotis. Or, "trente-six pieux de vingt-cinq à trente centimètres de diamètre et de six à sept mètres de longueur battus dans un espace de trente six mètres carrés exhaussaient à peine de quelques centimètres la surface du sol qui se trouvait ainsi comprimé d'une quantité presque égale au volume des pieux"¹. En prenant les valeurs moyennes données par Bernard², si l'on considère que le sol ne remonte pas sous l'action des pilotes, la réduction de son volume est de 17 %, ce qui correspond, en l'absence de pilotes, et en négligeant les actions latérales, à un tassement vertical de 110 cm ; supposons que le sol remonte de 5 cm, la réduction de volume est encore de 16 %, ce qui montre la grande compressibilité du saffre : l'ingénieur des Ponts et Chaussées Minard rapporte que lors de la construction d'un quai à Dieppe, le battage a produit une réduction de volume de 5 %, et seulement 3 % pour la forme d'Anvers³.

A l'opposé, "les piliers fondés sans pilotis sur le saffre, résistaient pendant quelques tems à la charge des maçonneries, mais après un intervalle plus ou moins long les tassements commençaient à se manifester et passaient rapidement de deux à huit et dix centimètres."⁴ Groignard a donc péché par oubli du facteur temps, le préchargement durant six mois n'ayant "produit aucun tassement sensible"⁵. En outre, Minard pense qu'"il n'est pas certains que tous les terrains soient dépourvus d'élasticité, et qu'ils ne se réhaussent pas quand on les décharge"⁶ : il l'a constaté à l'écluse de Daour et :

"A l'écluse Saint-Maur, fondée immédiatement sur le terrain naturel on voyait, avant certains travaux de consolidation, une lézarde vers le chardonnet amont, qui se fermait quand le sas était plein et s'ouvrait quand il était vide. Ce mouvement, dû à la pression des portes d'amont, n'indique-t-il pas que le terrain, fléchissant sous la charge de la chute de l'écluse, se relevait quand elle n'avait plus lieu ?"⁷

¹. BERNARD, *Mémoire sur le projet (...), op. cit.*

². Les pilotes employés ont un diamètre moyen de 0,275 m pour une longueur moyenne de 6,5 m ; le volume des trente six pilotes est donc de 55,6 m³ ; ils occupent une surface de 36 m², mais leur rayon d'action s'étend au-delà, soit un total de 50 m² environ, donc un volume de terre de 325 m³. *Ibid.*

³. C. J. MINARD, *Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux, professé à l'Ecole des ponts et chaussées de 1832 à 1841*, Paris, 1841, pp. 178-179.

⁴. BERNARD, *Mémoire sur le projet (...), op. cit.*

⁵. *Ibid.*

⁶. MINARD, *op. cit., loc. cit.*

⁷. *Ibid.*, p. 180.

Pour Bernard, la cause est entendue. Alors que le damage ne comprime le sol que sur une faible épaisseur (50 à 60 cm), le pilotage agit sur toute la hauteur des pieux espacés d'un mètre, et latéralement jusqu'à 38 à 40 cm de leur circonférence. A Toulon, partout où l'on a piloté, on a assuré la pérennité des ouvrages (nouveau magasin général, artillerie, porte du bagne), alors que la corderie, certaines cales couvertes, l'hôpital du bagne, etc., "non pilotés ou mal pilotés, ont éprouvé des tassements et des déversements. Plusieurs d'entre eux n'ont dû leur salut qu'à l'emploi du fer, d'autres se sont écroulés ou menacent de ruine."¹ Notons que Bergère signale que la méthode du damage "a été employée récemment avec succès"² pour une partie des fondations de l'hôpital Saint-Mandrier à Toulon. Néanmoins, il ne préconise le damage que dans le cas des terrains légèrement compressibles.

Mais le pilotage suscite lui aussi la méfiance. En effet, selon Bergère, si le battage doit se poursuivre jusqu'à ce que l'enfoncement ne soit plus que de deux à trois millimètres, il peut ne pas se faire sans mal :

"Quelquefois le frottement d'un terrain sablonneux ou d'un fond de gravier suffit pour arrêter les pilots : cela est sans inconvénient pour une construction qui ne doit pas être exposée à l'action de l'eau ; mais il ne faudrait pas se fier à un semblable pilotis pour une pile de pont par exemple, parce qu'il pourrait se former par suite de l'ébranlement du fond par le pilotage, des affouillemens qui compromettraient la solidité de la construction.

"Lorsqu'on bat des pilots dans un terrain glaiseux, les premiers pilots s'y enfoncent aisément ; mais lorsque le terrain a été comprimé par ces premiers pilots, ceux que l'on bat ensuite ne s'y enfoncent pas, et même leur percussion fait ressortir ceux qui ont été primitivement battus."³

Il suggère dans ce cas de battre les pilots avec le gros bout en bas — comme on l'a vu lors de la démolition du pont de Poissy, bâti au XVe siècle⁴ — mais cette solution ne peut, selon Bernard, être valable que lorsque l'on cherche à atteindre une bonne couche de terrain, "mais elle serait évidemment vicieuse dans le cas [...] où l'on a d'autre but que d'exercer sur une grande masse de terrain une forte compression. Pour obtenir ce résultat

¹. BERNARD, *Mémoire sur le projet (...)*, *op. cit.*

². *Notes sur le devis (...)*, *op. cit.*, p. 85.

³. *Ibid.*, p. 86.

⁴. POLONCEAU, *op. cit.*, p. 5. Minard (*op. cit.*, p. 178) partage cet avis.

il faut que le pieu agisse à la façon du coin et par conséquent qu'il soit enfoncé par le petit bout."¹

En effet, on distingue maintenant bien les deux formes du pilotage. La première, qui a pour but d'atteindre le bon fond, ne pose pas de problème si cette condition est effectivement réalisée ; mais comme le remarque Polonceau il faut se garantir des "irrégularités si fréquentes dans la composition des terrains [...], [de] la rencontre des blocs, souvent disséminés à diverses profondeurs, principalement dans le fond des vallées"², il en va de même dans les villes, ajouterons-nous pour notre part. La seconde, plus ardue, vise au *resserrement* du sol : "un grand nombre d'exemples de tassements et d'accidens survenus à des ouvrages hydrauliques [...] ont prouvé combien il est dangereux de s'y confier entièrement ; d'ailleurs les ingénieurs, qui ont exécuté des travaux de ce genre, savent que le refus d'un pilot n'est que temporaire et relatif."³ La nécessité de la prise en compte du facteur temps se fait de plus en plus jour. Pour Polonceau comme pour Bergère, la résistance à l'enfoncement est déterminée par le frottement du pilot sur le sol,

"mais l'équilibre tendant à se rétablir entre le terrain comprimé et celui qui l'environne, la pression de la partie qui touche le pieu diminue en se communiquant de proche en proche [...].

"L'effet qu'on vient de décrire s'opère surtout par la pénétration des eaux, qui, chassées par le refoulement qu'éprouve le terrain pendant le battage, tendent à y entrer de nouveau, et y parviennent par une filtration lente, au moyen de l'action capillaire"⁴.

Les eaux entraînent alors les fines, annulent le frottement, la charge est reportée sur la base du pieu qui reprend son enfoncement.

Polonceau affirme même qu'il est nombre d'ouvrages hydrauliques qui ne reposent que sur le grillage de charpente qui surmonte les pieux, ceux-ci ne servant finalement à rien : seules les enceintes de pieux et palplanches peuvent préserver des affouillements dus à l'eau. Minard ajoute, rejoignant Bernard, que le préchargement est inutile, car "les enfoncements durent quelquefois des années"⁵, comme il l'a vu à l'écluse de Saint-Quentin.

1. BERNARD, *Mémoire sur le projet (...)*, *op. cit.*

2. POLONCEAU, *op. cit.*, p. 4.

3. *Ibid.*, p. 2.

4. *Ibid.*, pp. 2-3.

5. MINARD, *op. cit.*, p. 179.

Les ingénieurs sont donc des plus circonspects à l'égard des techniques traditionnelles de consolidation. La généralisation de l'utilisation du béton dont les plates-formes remplacent les grillages en charpente¹, le sable — un matériau que l'on peut considérer comme nouveau car l'on commence tout juste à mettre en valeur ses propriétés isotropiques² — vont apporter une nouvelle réponse à la question de la compressibilité des terres. Dans les deux cas il s'agit non pas de donner au sol une fermeté qu'il n'a pas, mais de répartir la charge de façon à diminuer le risque de tassement.

Le second procédé est importé des Indes par le capitaine du Génie Romny, qui n'hésite pas à affirmer devant le Comité des Fortifications que l'emploi du sable dans les fondations est le seul moyen existant "pour empêcher le tassement des édifices les plus considérables à Surinam où toute la ville est bâtie sur le plus mauvais terrain"³. En 1830 à Bayonne, où le terrain est "vaseux et de peu de consistance jusqu'à une grande profondeur"⁴, le capitaine Gauzence utilise le sable pour fonder le porche d'un corps de garde, le succès est complet, alors que l'"on peut estimer que chaque massif de sable se trouve chargé d'un poids de 10 000 kilogrammes environ."⁵ Enthousiasmé et surpris, le

¹. POLONCEAU, *op. cit.*, p. 6 sq.

². Pour miner les roches, "on fait un trou, on le remplit d'une cartouche et pour que la charge produise plus d'effet, on la tasse" (C. N. ALLOU, "Note sur un phénomène de physique-mécanique, et sur plusieurs autres du même genre, qui paraissent avoir été peu remarqués jusqu'ici", *Bibliothèque Universelle de Genève - Sciences et Arts* 29, 1825, p. 196), ce qui ne va pas sans provoquer de graves accidents. En 1805, Jessop, ingénieur civil britannique, pense à recouvrir la poudre d'une petite quantité de sable très sec, sans même le tasser, augmentant la sécurité du minage. Le procédé est utilisé avec succès dès 1812 à Périgueux puis dans les mines de fer de l'île d'Elbe, lors des travaux de la route du Simplon, et généralisé aux travaux miniers après 1815 (PFLUGER, "Arts mécaniques : de l'emploi de la méthode de Jessop et de celle de Varnhagen dans les carrières de Soleuse", *Bibliothèque universelle de Genève - Science et Arts* 30, 1825, pp. 231-234). En 1827, Huber-Burnand présente à la Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève un anémomètre dans lequel la force et la durée du vent sont appréciées par la quantité de sable qui s'échappe d'une ouverture variable et proportionnelle à l'énergie du fluide. L'abbé Prévost, professeur de physique à l'université de Genève, lui suggère de poursuivre des recherches "sur le mode d'agir du sable dans la pression qu'il exerce" ("Lettre de M. Huber-Burnand à M. le professeur Prévost, sur l'écoulement et la pression du sable", *Bibliothèque universelle de Genève - Science et Arts* 40, 1829, p. 23), ce qu'il fait.

³. MOREAU, "Notice sur une nouvelle manière de fonder sur un mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.* 11, 1832] *A.P.C.*, 2e sem. 1835, p. 171. Un peu plus tôt Le Goux de Flaix rapporte des Indes orientales la méthode des puits en maçonnerie, qui peuvent remplacer les pilotes de bois pour les fondations. LE GOUX DE FLAIX, "Notice sur une méthode de fonder en substituant des puits en maçonnerie aux pilotis", *M.O.G.* 2, 1802, pp. 125-130.

⁴. *Ibid.*, p. 172.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

colonel Dorbach commence aussitôt ses "curieuses expériences"¹, selon l'expression de Poncelet, résumées dans le tableau 35.

Tableau 35. Expériences du colonel Dorbach sur la résistance du sable (1832).

Nature de la fondation	chargement kg	tassement mm
1. Couche mince de sable sur terre damée.....	30 000.....	68
au bout de huit jours.....		69
2. 9 pilots de bois ($\phi = 22$ cm ; L = 1,30 m) distants de 0,40 m	18 000.....	5
3. 25 piliers de sable de pierre.....	30 000.....	5,5
au bout d'un mois		16
4. 25 pilots de bois dans une fouille remblayée.....	18 000.....	2,5
au bout de trois jours.....		5
5. 25 piliers de sable*	29 200.....	10,5
au bout de quatre mois		18

* On enlève les pilots de l'expérience précédente et on remplit les puits de sable.

D'après : MOREAU, "Notice sur une nouvelle manière de fonder sur un mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.* 11, 1832] *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 173-176.

La première d'entre elles disqualifie définitivement le damage, le chargement induisant un tassement de près de 7 cm alors que les tableaux de Rondelet indiquent que "la percussion de la dame de 50 kilogrammes aurait dû raffermir assez le sol pour l'empêcher de s'affaisser sous un poids de 30 000 kilogrammes."² En outre, lors de la deuxième expérience, la réduction de volume du sol due au pilotage est de 20 % : "La percussion à la surface n'aurait pu produire cet effet qu'en déprimant le terrain de 0^m24, ce que le choc du mouton eut été loin de pouvoir opérer."³ Pour mener à bien la dernière expérience, on arrache successivement les pilots et on remplit immédiatement les trous par du sable de pierre humidifié, placé par couches damées ; plus le nombre de piliers de sable augmente, plus il est difficile d'enlever les pilots de bois. Ainsi, "toute la charge que l'on a fait porter aux pilotis en sable a dû agir latéralement, tandis que les pilots de bois

1. PONCELET, *op. cit.*, p. 238.

2. MOREAU, *op. cit.*, p. 178.

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

ont nécessairement reporté sur le fond une grande partie de celle qui leur a été superposée."¹ C'est l'explication de la bonne tenue des fondations réalisées par Gauzence.

Le capitaine Moreau se transporte au laboratoire afin de définir précisément comment se fait la répartition des contraintes au sein du sable placé dans une caisse de bois et conclut que :

"le massif de sable agit comme la théorie suppose que les remblais en terre sans cohésion doivent agir, c'est-à-dire qu'au moyen des prismes virtuels de plus grande poussée qui s'établissent sur chaque face, une partie de la charge est déviée sur les parois de l'excavation. [...] le fond se trouve déchargé proportionnellement, la plate-forme en sable a donc l'avantage de répartir le sable sur une plus grande surface de terrain"².

Le capitaine du Génie Niel poursuit les expériences de Moreau *in situ*, "sur des terrains plus mauvais encore"³ qui doivent accueillir la future enceinte du Sault (à Bayonne), les résultats sont probants (tableau 36) : la charge de 20 000 kg/m², qui correspond à une escarpe de 10 mètres de hauteur fondée sans empâtement, produit un tassement trois fois moindre sur le sable que lorsqu'elle est appliquée sur la vase ; avec le sable, 93 % du tassement est obtenu en deux jours⁴, seulement 85 % dans le cas de la vase ; en outre, si le massif de fonte (le chargement) reste stable sur le sable, il s'incline tellement sur la vase que l'on doit le répartir au cours de l'expérience. Le sable est incompressible, conclut Niel, mais "il ne prend tout son tassement que lorsqu'il est dans l'eau ; on ne doit donc le supposer incompressible qu'autant qu'on aura pu le submerger avant de poser la première assise des fondations."⁵

¹. *Ibid.*, p. 181.

². *Ibid.*, p. 186.

³. NIEL, "Mémoire sur l'emploi du sable dans les fondations en mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.* 12, 1835], *A.P.C.*, 2e sem. 1835, p. 190.

⁴. Alors que dans l'expérience de Moreau, on n'obtient que 78 % du tassement au bout d'un mois, dans un terrain préalablement comprimé par les pilots de bois. MOREAU, *op. cit.*, p. 176.

⁵. NIEL, *op. cit.*, p. 210.

Tableau 36. Expériences de Niel sur tassement du sable (1835).

La ligne *a* donne le tassement éprouvé par le sable dont on a rempli une excavation de 1,20 m de côté sur 2,84 m de profondeur, jusqu'à une hauteur de 1,20 m, chargée de 29 000 kg.

La ligne *b* donne le tassement éprouvé par la vase soumise à la même charge (posée sur une planche), dans une excavation de 2,32 m de profondeur, "de manière à correspondre, à peu près, au centre du massif de sable de la précédente." (pp. 207-208)

t (jour)	0*	2	4	6	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>a</i> (mm)	65	115		120		122,5		122,8		123,1		123,4
<i>b</i> (mm)	270	300	320	330	342,5		350		350		350	

* Pendant le chargement

D'après : NIEL, "Mémoire sur l'emploi du sable dans les fondations en mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.* 12, 1835], *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 206-209.

Le sable peut donc être avantageusement utilisé toutes les fois que "le terrain étant compressible, on n'a pas à craindre que l'eau puisse l'entraîner"¹. On conçoit qu'il apporte une solution inespérée en milieu urbain — la technique des pieux de sable est d'ailleurs toujours utilisée à Bayonne par les services techniques municipaux.

A Paris, la construction du canal Saint-Martin, de 1822 à 1825, soulève des "difficultés extraordinaires"² et permet d'expérimenter les méthodes douces de répartition des charges. En effet, "les terrains traversés par ce canal variaient souvent de nature, en sorte qu'à chaque pas il fallait changer de méthode de fondation"³, rapporte R. E. Devilliers, lui aussi un ancien de l'expédition d'Egypte. Les terres anthropiques changent à mesure que l'on s'approche du centre de la ville, des anciennes carrières de pierre à plâtre, dont la discontinuité s'était déjà manifestée lors de la construction de l'aqueduc de

¹. OLIVIER, "Sur les fondation sur sable et les chapes en goudron minéral", *A.P.C.*, 1er sem. 1837, p. 177.

². R. E. DEVILLIERS, *Description du canal de Saint-Denis et du canal Saint-Martin*, Paris, 1826, p. 6.

³. DEVILLIERS, "Fondation sur sable", *A.P.C.*, 2e sem. 1835, p. 404. Cette note est adressée par Devilliers à la commission des *Annales des Ponts et Chaussées* qui a oublié ses travaux sur le canal Saint-Martin dans son panorama de l'utilisation du sable : "je pense cependant qu'ils méritent quelque attention, soit à cause de l'antériorité de l'application que j'ai faite du système des *fondations en sable rapporté sur sol compressible*, soit à cause de la grande échelle sur laquelle j'ai opérée", précise l'ingénieur. *Ibid.*, *loc. cit.*

ceinture, aux dépôts d'immondices et aux anciens puits. En juin 1826, un an après la mise en eau, on constate, rues des Vinaigriers et des Récollets, des venues d'eau dans les caves, ou dans des fouilles :

"L'eau paraissait venir du deuxième biez du canal, on le mit à sec, et on découvrit en effet une fente dans le radier, qui s'était en partie affaissé de 10 à 20 centimètres. On a démoli cette partie du radier, et on s'est aperçu que les terres [...] avaient éprouvé un tassement sur environ 840 mètres superficiels. [...]

"Une aussi grande partie du radier ne se serait probablement pas affaissée, si les premières filtrations n'avaient pas trouvé une issue plus ou moins facile par un puits anciennement bouché par de mauvais madriers, à un mètre environ au-dessous du niveau auquel on avait établi le béton. On conçoit que les premières filtrations, en prenant leur cours, ont entraîné une partie des terres ; ce qui ne serait point arrivé si les eaux fussent restées stagnantes sous le radier."¹

Les murs du premier bassin du premier biez, à cheval sur les bancs de pierre à plâtre et sur les remblais, "sont fondés sur une couche de béton plus ou moins épaisse, posée elle-même, quand le terrain n'a pas paru suffisamment solide, sur un remblai en sable, plus ou moins large et profond, suivant la nature du sol et la consistance des anciens remblais."² La méthode — adoptée pour le pont de la Butte Chaumont, le mur du quai de la Gare, l'écluse en Seine, etc. — repose sur le même principe que celle qu'avait adoptée Girard.

Mary perfectionne le procédé : "en 1833, un égout latéral au canal Saint-Martin, fondé depuis quatre ou cinq ans sur un terrain de remblai de très-mauvaise qualité, s'affaissa tout-à-coup sur plusieurs mètres de longueur"³ ; on ne peut rejoindre le bon fond — six mètres plus bas —, la fouille risquant de déstabiliser le canal et les maisons riveraines. Mary a donc recours au sable, "seulement au lieu d'employer des pieux en sable, qui n'auraient présenté aucune sécurité dans un terrain traversé par d'abondantes filtrations, on employa, pour remplir les trous des pieux, du sable-mortier, c'est-à-dire du sable imbibé de $\frac{1}{7}$ environ d'un épais lait de chaux hydraulique."⁴ Le sol de fondation est lardé de ces pieux jusqu'au boursoufflement, puis on pose une couche de béton sur laquelle est construit l'égout. Sur une ancienne carrière de plâtre, on réalise des pilots de sable uniquement — en l'absence d'eau —, et on recouvre le sol ainsi préparé d'une

¹. DEVILLIERS, *Description du canal (...)*, op. cit., p. 56.

². *Ibid.*, p. 52.

³. MARY, "Note sur diverses fondations en sable, exécutées à Paris", *A.P.C.*, 2e sem. 1835, p. 211.

⁴. *Ibid.*, loc. cit.

couche de sable de 80 cm : "malgré l'inégalité de poids que supporte le poids de la fondation [...], il ne s'est pas produit le plus léger tassement dans les maçonneries tandis que les portions voisines de l'aqueduc de ceinture qui n'ont pas été fondées sur le sol vierge ont éprouvé un tassement de 0^m.30 environ."¹

La méthode de fondation par le sable est celle qui, parmi toutes les autres, a été analysée le plus scientifiquement : son isotropie se modélise plus facilement que le comportement capricieux de la plupart des sols — qui conduit les constructeurs à travailler à l'aveuglette, approuvant et désapprouvant successivement damage et pilotage —, elle permet en outre de ramener la solution du problème à une question de poussée (du pieu en sable sur le terrain adjacent), domaine de prédilection des ingénieurs.

c) Le roulage

Les canaux ne suffisent pas à quadriller le territoire : le trafic routier double presque entre 1815 et 1830² sur les routes empierrées réalisées pour la plupart avant la Révolution — soit environ 30 000 km³. Dans un premier temps, la majeure partie des efforts est donc concentrée sur l'entretien des routes existantes, puis sur leur dimensionnement. On analyse ainsi le couple formé par la voiture et la chaussée, qu'il s'agisse de la détermination des pentes, pour laquelle une attention particulière est donnée à la force du cheval, ou du choix du revêtement, du nombre de roues, de la largeur des jantes, etc. Nous n'examinerons pas ici la question des pentes — pourtant sujette à polémique⁴ —, mais celle du revêtement, qui doit nous intéresser à deux titres. D'une part, les ingénieurs étudient ici aussi la compressibilité qui permet de définir la résistance de la route. D'autre

¹. *Ibid.*, p. 213.

². A. GUILLERME, *Corps à corps sur la route : les routes, les chemins et l'organisation des services au XIXe siècle*, Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1984, p. 28. L'augmentation du trafic est estimée à partir de l'impôt sur les voitures publiques qui passe de 2 360 000 francs en 1818 à 5 600 000 francs en 1829. L'évaluation du trafic routier s'avère néanmoins très difficile, comme l'a montré Bernard Lepetit. B. LEPETIT, *Les villes dans la France moderne (1740-1840)*, Paris : Albin Michel, 1988, chap. VIII : "Les villes et les routes".

³. A. GUILLERME, *Corps à corps sur la route (...), op. cit.*, p. 11. La construction de nouvelles voies reprend en grand à partir de 1836 avec le nouveau règlement du service vicinal. *Ibid.*, p. 31 sq.

⁴. CORREZE, MANÈS, "Mémoire sur les routes et le roulage", *A.P.C.*, 1er sem. 1832, pp. 145-209 ; GIRARD de CAUDEMBERG, "Note sur le mémoire de MM. Corrèze et Manès, inséré en 1832, dans le 2e cahier des Annales des ponts et chaussées", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 173-177 ; DEVILLIERS, "Recherches sur la quantité d'action développée par les chevaux de roulage, montant des rampes diversement inclinées", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 1-12.

part, les années 1820 et 1830 voient arriver en France un nouveau mode de revêtement importé d'Angleterre, le *macadam*, qui changera la face de la ville.

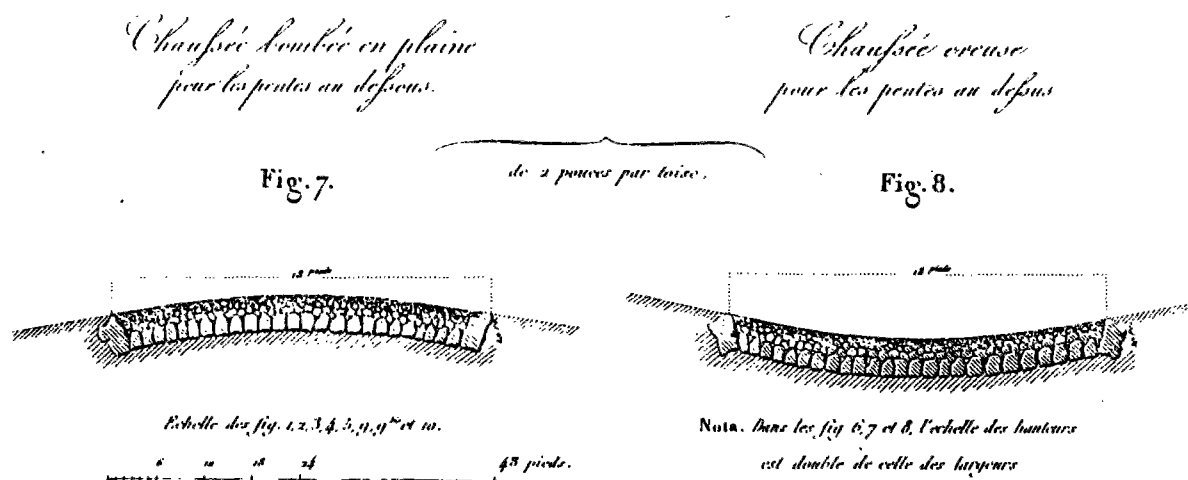


Figure 46. Chaussées empierrées, méthode de Trésaguet.

Source : TRESAGUET, "Mémoire sur la construction et l'entretien des chemins de la généralité de Limoges", A.P.C., 2e sem. 1831, pl. IV, fig. 7-8.

Dans le revêtement traditionnellement adopté pour les routes françaises, mis au point par Perronet en 1742 et généralisé par Trésaguet en 1769¹, "les pierres sont arrangées à la main dans le fond de l'encaissement, posées de plat, ensuite chargées de pierrailles jusqu'à la naissance du bombement, battues à la masse, et celles-ci recouvertes de pierrailles, qui doivent être cassées plus menues que la couche inférieure pour former le bombement."² (figure 46) Mais ces chaussées se ruinent rapidement, par l'action du

¹. TRESAGUET, *Mémoire sur les chaussées empierrées*, Paris, 1769, cité par A. GUILLERME, *Corps à corps sur la route*, op. cit., p. 22.

². TRESAGUET, "Mémoire sur la construction et l'entretien des chemins de la généralité de Limoges", A.P.C., 2e sem. 1831, p. 249. Le mémoire est rédigé en 1775.

gel, de l'eau, et du roulage : l'orniérage est la "plus fâcheuse des dégradations, parce que l'eau séjourne longtemps dans les ornières [...] avant de s'évaporer, et contribue dès lors puissamment à la destruction des matériaux"¹, souligne un ingénieur des Ponts et Chaussées qui désire semble-t-il garder l'anonymat. On doit donc périodiquement recharger les routes : ce même ingénieur indique, pour l'arrondissement de L*, des taux de rechargement allant de 72 à 333 m³ par kilomètre et par an, 160 m³/km/a en moyenne, soit près de 3 cm de rechargement par mètre carré et par an².

L'entretien est donc au cœur de la technique routière, en France comme en Angleterre, où les contraintes climatiques sont encore plus grandes. C'est dans ce contexte que John Loudon Mac Adam, chargé de la maintenance des routes des environs de Bristol, met au point, dès 1816, le procédé qui portera son nom. En 1822, Navier revient d'outre Manche enthousiasmé par ce système simple, peu coûteux et efficace :

"Le fondement de ce système est qu'une route construite artificiellement ne peut jamais être meilleure que le sol naturel dans un parfait état de sécheresse. Dans cet état, le sol a la fermeté nécessaire pour résister au poids des grosses voitures : tout se réduit donc à rendre et à maintenir sec le fond sur lequel la route est établie.

"Pour y parvenir, cette route doit être mise d'abord à l'abri des eaux, en soutenant le fond [...] à 3 ou 4 pouces (8 ou 10 centimètres) au-dessus du niveau de l'eau dans les terrains ou les fossés environnants. Les effets des eaux pluviales doivent ensuite être prévenus, en recouvrant le fond de matériaux choisis, préparés et employés de manière à devenir parfaitement impénétrables à l'eau ; condition à laquelle on ne pourra satisfaire qu'en mettant le plus grand soin à ce qu'aucune partie de terre, d'argile de craie, ou en général de matières pouvant être pénétrées par l'eau et la conduire, ne se trouvent mêlées à la pierre cassée. Cette pierre doit être pure, sèche, et disposée de manière à s'unir par ses faces anguleuses, et à former un corps ferme, compact et impénétrable."

"L'épaisseur d'une route ainsi formée est de peu d'importance [...]

.....

"Une des parties principales du système de M. Mac Adam est le rejet absolu de cette couche inférieure formée de grosses pierres [...]. Une pareille fondation lui paraît inutile et même nuisible, en ce que ces grosses pierres ne peuvent jamais se consolider et s'unir, et fournissent par leurs interstices un passage facile à l'eau."³

¹. M. B., "Construction et dimensions des diverses parties d'une route en empierrement, largeur de la chaussée proportionnelle à la fatigue de la route", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, p. 263.

². Compte tenu de la largeur de chacune des dix-sept routes testées. *Ibid.*, p. 286 bis.

³. NAVIER, "Considérations sur les travaux d'entretien des routes en Angleterre. Procédés de M. Mac Adam", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 138-140.

A l'opposé, Mac Adam utilise des cailloux concassés de la taille d'un œuf de poule, et la fouille est remplie de trois couches de matériau ; "jusqu'à ce que les matériaux soient consolidés, il faut charger une personne soigneuse de passer le râteau dans les traces suivies par les roues. On ne doit jamais rien mettre sur la pierre, sous prétexte de lier. La pierre cassées s'unit d'elle-même par ses faces, et forme une surface solide et unie."¹

Le procédé de Mac Adam est importé en France au moment même où l'on cherche à y optimiser la construction des routes. On peut résumer ce casse-tête en ces termes : il s'agit de profiler la route et de dessiner la voiture de façon à ce que la première oppose le moins de résistance à la seconde qui ne doit pas fatiguer la première, sachant que le nombre de chevaux ou de bœufs, donc la force de traction, peut varier. En effet, le tirage, force de traction que doit fournir l'animal à chargement donné, varie suivant la nature des routes : pour les "routes excellentes, telles que celles à la Mac-Adam"², le tirage en plaine ne représente qu'un trentième du poids du véhicule et de son chargement, alors qu'il double pour les routes les plus mauvaises. Et pourtant, toutes sont faites de cailloux : une analyse macroscopique ne permet pas de les distinguer, microscopique, elle rend difficilement compte du terrain, c'est donc vers une analyse *mésoscopique* que se tournent le capitaine du Génie Corrèze et l'ingénieur des Mines Manès dans leur travail sur le roulage, publié en 1832. Ils ont peut-être par là trouvé la dimension qui manquait — et manque encore — à l'étude du sol, la question n'étant pas finalement de savoir s'il s'agit d'un fluide, d'un semi-fluide ou d'un solide, mais plutôt du grossissement à adopter, ce qui est particulièrement vrai en milieu urbain, en situation d'hétérogénéité.

Les paramètres qui entrent en ligne de compte dans l'étude du roulage sont multiples. Le problème de la pérennité de la route étant central, celui de la durabilité des matériaux l'est aussi :

"tout le monde reconnaîtra avec nous que ceux-là devront être préférés qui sont les moins altérables à l'air ; et que quant à la nature de la terre qu'ils produisent en se désagrégeant, d'une part, plus cette terre sera argileuse, plus elle attirera l'humidité et contribuera à la détérioration de la chaussée ; et d'une autre part, plus elle sera grasse et compacte, plus aussi elle opposera d'efforts à la roue qui tendra à y faire ornière, et plus par conséquent elle absorbera de la force du moteur."³

¹. *Ibid.*, p. 142.

². CORREZE, MANÈS, *op. cit.*, p. 157.

³. *Ibid.*, p. 166.

La distinction fondamentale entre perméabilité et aptitude à la rétention d'eau condamne la route empierrée imperméable.

La roue sollicite la route par frottement, par pression et par choc :

"Comme d'ailleurs les effets du choc, qui provient des aspérités du chemin, sont beaucoup plus destructeurs que ceux de la pression, il suffirait [...] de dresser un tableau des chocs sous lesquels commencent à se briser ces matériaux. Connaissant la plus grande hauteur h des inégalités qui peuvent se trouver sur une route, le choc produit par le poids P tombant de cette hauteur serait proportionnel à $P \sqrt{g h}$; et, cette quantité ne devant pas dépasser le plus petit des chocs du tableau, on connaîtrait ainsi la plus grande valeur à donner au chargement P ."¹

Mais l'étude de la pression, si elle rebute dans les terres compressibles, est, pour la pierre, beaucoup plus aisée que celle du choc, que les ressorts de la voiture peuvent d'ailleurs convertir en pression². Les résultats des expériences de Navier, qui donnent la résistance à la pression de "cubes de 5 centimètres de côté, secs, taillés et portant exactement sur toutes leurs faces"³ doivent, selon Corrèze et Manès, être divisés par dix pour rendre compte à la fois de l'effet du choc et de la réalité du terrain, "attendu que les pierres employées sur les routes [sont] cassées irrégulièrement, jetées au hasard et saturées d'eau"⁴. La plus petite résistance donne la charge maximale à adopter pour les voitures, soit 800 kg/m² (tableau 37), mais encore faudrait-il connaître, à un instant t , la surface de l'arc de roue qui transmet la charge à la route. Quelques années plus tard, l'ingénieur des Ponts et Chaussées Boisvillette tente de définir la résistance de la route par des expériences de laboratoire (plus de cinq cents), mais "pour assimiler, en quelque sorte, le plateau inférieur à la surface compressible d'une chaussée imprégnée d'humidité, une partie des essais a été faite sur une surface de bois tendre, interposée entre la pierre et le mouton inférieur."⁵ Les résultats sont très différents de ceux de Navier — la résistance à la pression des pierres est beaucoup plus faible⁶ — et des présupposés de Corrèze et Manès, puisque la résistance au choc est supérieure à la résistance à la pression⁷.

¹. *Ibid.*, p. 165.

². *Ibid.*, p. 171.

³. *Ibid.*, p. 166.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. BOISVILLETTE, "Note sur la résistance à l'écrasement des matériaux considérée dans ses rapports avec l'entretien des routes en cailloutis", *A.P.C.*, 1er sem. 1835, p. 374.

⁶. *Ibid.*, p. 375.

⁷. *Ibid.*, p. 377.

Boisvillette conclut qu'il ne conviendrait pas d'admettre sur chaque centimètre de largeur de roue, pour voiture allant au pas, un chargement qui excédât 100 kilogrammes."¹

Tableau 37. Résistance des pierres et des chaussées à la pression. d'après les expériences de Navier.

Roches	Charge maximale supportée par le cube de 5 cm de côté (kg)	Pression maximale supportée par la chaussée correspondante (kg/m ²)
Porphyre	50 000	20 000
Grès	20 000	8 000
Granit	16 000	6 400
Quartz	12 000	4 800
Calcaire dur	8 000	3 200
Calcaire tendre	2 000	800

D'après : CORRÈZE, MANÈS, "Mémoire sur les routes et le roulage", A.P.C., 1er sem. 1832, p. 166.

En outre, les travaux de Corrèze et Manès leur permettent d'affirmer la suprématie de la route élastique qui résiste mieux — "la dégradation [...] est très-grande sur une route en cailloutis avec fondations en grosses pierres, et beaucoup moindre sur une route à la Mac-Adam, où les matériaux peuvent céder sans se briser sous la compression"² — et qui oppose moins de résistance à la roue : "Le chemin que parcourt une roue étant de nature compressible, si cette route est élastique et qu'elle se relève après le passage de la roue, de la même quantité dont elle s'était abaissée sous elle, il est évident qu'il n'y aura aucune perte de force, quel que soit d'ailleurs le poids dont cette roue soit chargée."³

Le système de Mac-Adam apparaît donc comme le meilleur pour revêtir les routes, mais l'hésitation est grande : dans le deuxième volume des *Annales des Ponts Chaussées*, publié en 1831, le texte enthousiaste (rédigé en 1822) de Navier⁴ qui revient d'Angleterre convaincu par les chaussées de Mac Adam, côtoie un mémoire de Trésaguet de 1775⁵.

¹. *Ibid.*, p. 380.

². CORRÈZE, MANÈS, *op. cit.*, p. 170.

³. *Ibid.*, p. 174. En Angleterre, Mac Adam est violemment critiqué par Telfort, partisan des chaussées rigides en béton. H. MOUGEY, "Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edimbourg", A.P.C., 2e sem. 1838, p. 160.

⁴. NAVIER, "Considérations sur les travaux d'entretien (...)", *op. cit.*, pp. 132-156.

⁵. TRESAGUET, "Mémoire sur la construction (...)", *op. cit.*, pp. 243-258.

La technique est mise en œuvre à Londres et dans les villes anglaises (figure 50, § III.4.1, c) dès le début des années 1820¹, puis importée en France. Mais si le service vicinal l'adopte sans réserve, les ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui ont souvent la charge des rues, lui préfèrent nettement le pavage : la *macadamisation* ne touche les villes françaises qu'à partir des années 1840².

Paradoxalement, le macadam rapproche l'espace urbain de son état antérieur — il ne sera abandonné qu'avec l'avènement de l'automobile —, mais il a fait ses preuves en rase campagne. Par ailleurs, malgré la précision des recherches sur le roulage et la transmission des charges, la question du couple formé par la chaussée et la conduite n'est pas réglée, toutes ces recherches ayant été menées hors la ville. Nous verrons ultérieurement³ que le *Newton des routes*⁴ n'est pas celui des rues.

¹. NAVIER, "Considérations sur les travaux d'entretien (...)", *op. cit.*, p. 132.

². A. GUILLERME, "Le pavé de Paris", in : *Paris et ses réseaux : naissance d'un mode de vie urbain, XIXe-XXe siècles*, Paris : B.H.V.P./Agence culturelle de Paris, 1990, p. 71.

³. Cf. *infra*, § III.4.1, c : "Les nouvelles boues".

⁴. Mac Adam est plébiscité par la presse britannique qui le surnomme le Newton — ou le colosse — des routes et vulgarise son nom dès le début des années 1820.

III.3. LE SECOND PLAN DE VILLE

Si le sol biologique et pourrissant n'est plus un enjeu de salubrité comme il l'a été au XVIII^e siècle, c'est aussi que la ville change. Non pas que les causes d'insalubrité soient éradiquées du jour au lendemain, mais la réalisation — partielle — de l'assise technique de la cité et la progressive mise en place d'un cycle artificiel va amener ingénieurs et médecins à s'intéresser à d'autres propriétés du sol. Bien plus, alors que les médecins ont été le moteur de la rénovation urbaine, les ingénieurs vont la mettre en œuvre dans l'espace public. Depuis qu'ils existent en France — c'est-à-dire depuis le XVIII^e siècle —, ils se sont intéressés à la ville. Au terme de ce chapitre sur la physique du sol, nous voyons que, si de nombreuses questions restent encore posées¹, les techniques urbaines ont beaucoup évolué, alors que la médecine de ce même espace public semble piétiner.

La conséquence de l'intervention des ingénieurs est à double tranchant. Elle consacre l'assainissement au sens hydraulique du terme. Mais ces techniciens, quoique n'ayant pas encore perdu leur culture historique, ne sont pas en mesure de comprendre les mécanismes biologiques qui régissent le comportement du sol : certes, l'infect doit disparaître, mais le méphitisme urbain échappe aux mécaniciens — comme il leur échappera sous le règne de l'analogie électrique² —, d'où les dysfonctionnements de ce nouveau milieu urbain.

¹. Les réponses ultérieurement proposées sont brièvement évoquées au début du chapitre IV.

². Il nous semble que l'analogie électrique, méthode couramment utilisée pour modéliser un grand nombre de phénomènes physiques (notamment l'écoulement de l'eau dans le sol) et aujourd'hui plus ou moins détrônée par les ordinateurs, ne fait que renforcer la vision hydraulicienne des ingénieurs, puisque tout se résume à un système de flux, de résistances et de condensateurs.

Nous ne reviendrons pas sur l'histoire de l'adduction en eau et de l'assainissement depuis la révolution industrielle ; elle a déjà été écrite¹, seules nous intéressent ses conséquences sur le biotope de la cité.

Il faut en effet un siècle pour que le système $\left\{ \begin{array}{l} \text{adduction en eau} \\ \text{imperméabilisation du sol} \\ \text{évacuation souterraine} \end{array} \right\}$ tel que

nous le connaissons à l'heure actuelle se constitue en théorie comme en pratique² — malgré les visions de Patte. En effet, dans un premier temps, l'eau est amenée dans le domaine public avant tout pour nettoyer rues et égouts et dans une moindre mesure pour l'alimentation des particuliers qui doivent aller se pourvoir aux fontaines mises à leur disposition, l'eau arrivant rarement dans les logements³ : la part réservée au nettoyage représente donc une fraction non négligeable de la demande. Ainsi, à Dijon, les premiers projets d'adduction sont-ils motivés par l'insalubrité du grand égout qui traverse cette ville⁴ ; à Toulouse où l'on envisage cependant dès les années 1820 la desserte de certains immeubles, la consommation domestique est estimée à 20 litres par habitant et par jour "en y comprenant les bains, les lessives, les lavages de toute espèce, le service des abreuvoirs, etc. [...] Il fallait encore laver les rues et les égouts. On voulait des fontaines de décoration [...] : On fixa en conséquence à *deux cents pouces d'eau* au moins la quantité à répandre dans la ville. C'est à raison de 80 litres par tête."⁵

¹. G. JACQUEMET, "Urbanisme parisien : la bataille du tout-à-l'égout à la fin du XIXe siècle", *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 26, 1979, pp. 505-548 ; G. DUPUY, G. KNAEBEL, *Assainir la ville hier et aujourd'hui*, Paris : Dunod, 1982 ; "Les réseaux techniques urbains : histoire contemporaine", *A.R.U.* (23-24), 1984 ; "L'eau dans la ville", *A.R.U.* (30), avr. 1986 (pp. 5-33 notamment) ; V. CLAUDE, *Strasbourg 1850-1914 : assainissement et politiques urbaines*, thèse, E.H.E.S.S., mai 1985 ; GOUBERT, *op. cit.* ; P. Y. MAUGUEN, *Innovation et réseau d'assainissement (1870-1885) : communautés d'ingénieurs et d'hygiénistes pastoriens face à l'émergence de la microbiologie*, mémoire de D.E.A., C.N.A.M., 1988 ; F. X. MERRIEN, *La bataille des eaux : politiques publiques et représentations sociales à Rennes au XIXe siècle*, rapport de recherche pour le compte du PIREN, 1990 ; *Paris et ses réseaux : naissance d'un mode de vie urbain, XIXe-XXe siècles*, Paris : B.H.V.P./Agence culturelle de Paris, 1990, chap. 2 : "L'eau et l'hygiène".

². Sur sa réalisation concrète à Paris, voir : CEBRON de LISLE, "Les eaux et les égouts à Paris au XIXe siècle : évolution technique", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, pp. 101-136.

³. "En 1831, c'est seulement 0,10 % de la population qui reçoit l'eau au mieux dans le logement, le plus souvent dans la cour de l'immeuble. Encore cette statistique ne concerne-t-elle qu'une quantité infime de ménages, la grande majorité des abonnements couvrant des ministères, des couvents et quelques rares commerces et industries." J. CSERGO, "L'eau à Paris au XIXe siècle : approvisionnement et consommation domestique", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, p. 137.

⁴. DARCY, *Rapport à M. le Maire et au conseil municipal de Dijon (...)*, *op. cit.*, pp. 4-5.

⁵. D'AUBUISSON, *op. cit.*, pp. 260-261.

Sous le Second Empire, si la consommation domestique a beaucoup augmenté, celle du nettoyage est stationnaire : en 1856, Darcy essaye de formuler plus précisément le besoin et propose l'équation¹ :

$$Q \text{ (l/hab/j)} = 90 + \frac{L}{P} \left(\frac{2 \ v \ t}{m} + 1 \ e \right)$$

où P est la population de la ville considérée, L la longueur de ses rues, l la largeur moyenne des rues, v le débit (l/mn) de chaque borne fontaine, t le temps pendant lequel l'eau coule aux bornes fontaines chaque jour, e l'épaisseur de la lame d'eau nécessaire à l'arrosage, m l'espace entre deux bornes fontaines.

A Paris, P = 1 053 897 hab, L = 425 000 m, l = 9 m, v t = 20 000 l, m = 300 m, e = 2,5 mm, soit Q = 153 l/hab/j.

L'eau d'arrosage a le même statut que l'eau de pluie, elle doit nécessairement être évacuée vers un exutoire : le corollaire de l'alimentation en eau est la construction d'un réseau d'évacuation qui doit en premier lieu garantir la ville des inondations et que l'on imagine de plus en plus souvent souterrain : "les égouts de Paris doivent être considérés [...] comme formant un système général de dessèchement et d'assainissement des différents quartiers de cette capitale"², écrit Girard. Mais pour l'instant, l'eau usée n'existe pas, ni dans les faits — du moins jusqu'au Premier Empire —, ni dans les esprits — jusqu'au Second Empire, puisque l'eau ne peut être considérée comme usée que si elle est inutile.

Alors que la réalisation du réseau d'eau amène dès le Premier Empire à reconnaître l'espace parisien, celle, conjointe, du réseau d'égout a pour conséquence le remodelage de la figure de la ville, peu adaptée à cette application généralisée de l'hydraulique, comme le montre l'exemple de Toulouse :

"Dans les villes qui sont situées sur un plan de pente bien prononcé, on porte l'eau sur son bord supérieur par une seule conduite, d'où elle s'épanche naturellement, et coule ensuite dans les rues en ruisseaux abondants. Mais Toulouse n'est point dans le même cas ; on n'y a pas une ou même deux ou trois pentes générales ; et quoique sa partie septentrionale s'incline vers le nord d'une manière assez marquée, la ville n'en est pas moins assise, en sa majeure partie, sur un plan sensiblement horizontal. Pour éconduire les eaux de ses rues, on a établi des égouts non-seulement

1. DARCY, *Les fontaines publiques de la ville de Dijon* (...), *op. cit.*, p. 76.

2. GIRARD, "Mémoire sur les égouts de Paris", in : GIRARD, *Mémoires sur le canal de l'Ourcq* (...), vol. 2, *op. cit.*, p. 467.

sur son pourtour, mais encore dans son intérieur, et le pavé a été disposé en conséquence ; de sorte que le sol actuel présente des pentes dans tous les sens : ces pentes et contre-pentes sont courtes et nombreuses, et la surface qui résulte de leur ensemble est toute mamelonnée."¹

Cette disposition du sol entraîne dans certains quartiers la multiplication des bouches d'eau — multiplication d'origine topographique que de mauvais plaisants auraient voulu attribuer à un favoritisme déplacé, souligne d'Aubuisson².

Il ne suffit donc pas de construire des égouts pour s'affranchir du sol naturel, encore faut-il le faire en suivant un plan déterminé et cohérent, un système : ajouter à la connaissance du sol celle des réseaux existants, afin de projeter les futurs, coordonner les travaux de surface et souterrains, telle est la problématique que tente de mettre en place Henry-Charles Emmerly. Cet ingénieur des Ponts et Chaussées, fondateur et secrétaire des *Annales* du même nom de 1831 à 1841, successeur de Girard au service des eaux de Paris³, présente en 1836 les documents déposés aux archives de la ville⁴ : plans au $\frac{1}{144}$, tableaux statistiques des égouts existants et projetés au 1er janvier 1837 ; mais il se fixe un objectif beaucoup plus vaste. En effet, les réseaux se multiplient :

"Ainsi, le sol communal, d'abord consacré exclusivement à l'écoulement extérieur des eaux et au parcours des piétons et voitures, est appelé à être partagé souterrainement, et suivant des tracés raisonnés et combinés à l'avance, entre les égouts, les conduites d'eau et les conduites de gaz, afin que ces *trois réseaux* soient autant isolés que possible les uns des autres, et se nuisent le moins que faire se pourra au droit des nombreux points de rencontre de leurs plans respectifs.

"Il ne faut donc plus seulement que chaque ville ait le relevé exact, comme renseignements de voirie, des maisons bâties, et qu'elle se contente d'arrêter, *ne varietur*, les alignements à donner pour les constructions qui viendraient à s'élever sur les rives de chaque voie publique.

"Mais il faut encore que, sous peine de compromettre le passé ou d'engager imprudemment l'avenir, chaque ville ait le plan géométrique des égouts d'abord, et ensuite des conduites qui constituent les servitudes acquises ou à imposer au droit de ce sol communal [...].

"C'est surtout lorsqu'une cité vient à donner une extension considérable aux galeries déjà exécutées, à ses distributions d'eau, aux distributions de gaz par elle autorisée, qu'à chaque pas la nécessité de cette mesure d'ordre, *de ce second plan de ville*, se fait impérieusement sentir."⁵

¹. D'AUBUISSON, *op. cit.*, pp. 287-288.

². *Ibid.*, p. 289.

³. Le 1er janvier 1832, Girard est remplacé par Duleau, qui ne survivra pas au choléra, Emmerly prend ses fonctions le 11 juin de la même année. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (année 1836)", *A.P.C.*, 2e sem. 1836, p. 290.

⁴. Consultables aujourd'hui aux Archives de la Seine, série VO3.

⁵. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (...)", *op. cit.*, pp. 266-267.

La cartographie des égouts, dont "*aucun plan détaillé*"¹ n'est disponible en 1833, constitue donc la première étape de ce récolement, pour lequel un crédit est ouvert cette même année et qui permet de prendre "connaissance de cette portion jusqu'alors non explorée de la ville"² — l'ingénieur a déjà oublié les enquêtes des hygiénistes du XVIII^e siècle. Les modalités pratiques d'exécution de l'inventaire sont analysées en détail, jusqu'aux dimensions et au pliage des feuilles³ ; il permet de localiser les égouts déficients, de programmer les réparations et les extensions, à grande échelle et à long terme, et, selon l'expression d'Emmery, "ce deviendra une page d'histoire, comme progrès sanitaire, que d'enregistrer la série et la comparaison des divers chiffres qui constatent les développements les plus récents des égouts de Paris."⁴

Tableau 38. Evolution de la longueur des égouts parisiens (1663-1990).

1663	10 km dont 2,3 km voûtés	1864	254 km dont 54 dus à l'annexion
1800	26 km voûtés	1871	536 km
1824	37 km dont 35,5 km voûtés	1878	620 km
1837	77 km	1885	828 km
1854	155 km	1990	2 000 km

D'après : H. C. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (année 1836)", *A.P.C.*, 2e sem. 1836, p. 299 ; E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pp. 20-22, 29, 32, 44, 160, 180, 321 ; et A. MAYER, "La canalisation souterraine de Paris", in : *Paris-guide*, sélection de textes [1ère éd. intégrale 1867], Paris : La Découverte, 1983, pp. 178, 183.

En effet, la période 1806-1836, celle de "l'histoire moderne des égouts de Paris"⁵, voit un développement sans précédent de la canalisation souterraine (tableau 38) et de la maîtrise de l'espace, grâce, selon Emmery, à trois innovations majeures. La première concerne les matériaux : jusque dans les années 1820, les égouts sont établis "avec radier

¹. *Ibid.*, p. 268.

². *Ibid.*, p. 270.

³. *Ibid.*, pp. 281-282.

⁴. *Ibid.*, p. 283.

⁵. *Ibid.*, p. 289.

et assises courantes en pierre de taille, et avec mortier de chaux grasse"¹ et reviennent à 400 francs le mètre courant ; en 1823, Devilliers, Coïc et Duleau adoptent la chaux hydraulique pour l'égout latéral du canal Saint-Martin et montrent que l'on peut ainsi considérablement réduire les coûts de construction en adoptant un profil intérieur ovoïde, à parois plus minces, en remplaçant les pierres de taille par "de petits matériaux"², en l'occurrence la pierre de meulière. Le prix du mètre courant passe "suivant les sections, grande, moyenne, petite, à 130 fr., à 100 fr., et même à 80 fr."³

Par ailleurs, un premier redécoupage des bassins versants parisiens est effectué sous l'impulsion de Girard ; "en effet, jusqu'en 1830, on s'était astreint à cette règle de ne laisser retomber que le moins possible d'eaux sales dans la Seine, dans la traversée de Paris, et de diriger au contraire une masse considérable d'écoulements sur le grand égout"⁴, de ce fait surchargé. Or, selon Girard, "à moins de faire subir au système général des pentes et contre-pentes des rues de Paris, des modifications souvent difficiles à opérer [...], il est impossible de prévenir le reflux des eaux du grand égout sur le pavé des rues"⁵, sauf si l'on substitue au cheminement naturel des eaux un parcours artificiel, souterrain, et multiplie les exutoires en Seine, ce qui fut fait (figure 47).

Enfin, à partir de 1833, les égouts ne doivent plus seulement favoriser l'écoulement des eaux pluviales, mais aussi le lavage des rues dont le profil est régularisé avec "d'une part l'adoption exclusive des *chaussées bombées* pour pavage⁶, et des *bouches sous trottoirs* pour entrée d'eau ; et d'une autre part, la condamnation des chaussées fendues et des grilles."⁷ Ces propositions, dues à Emmerly, reposent sur "la condition nécessaire d'un concert préalable entre les services du pavé, des eaux, des égouts, et d'un *procès-verbal de conférence mixte*, lequel précise l'objet, les conséquences, les bases premières de chaque nouvelle disposition."⁸ En effet, les premières chaussées bombées ont été réalisées sans tenir compte de la quantité d'eau que reçoivent les ruisseaux latéraux, d'où plusieurs inondations dans les maisons riveraines.

¹. *Ibid.*, p. 290.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 291.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁵. GIRARD, "Mémoire sur les égouts de Paris", *op. cit.*, p. 486.

⁶. Ce qui n'est possible que lorsque la rue a au moins 7 mètres de large (1,15 m par trottoir et 4,70 m pour la chaussée). EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (...)", *op. cit.*, p. 296.

⁷. *Ibid.*, p. 292.

⁸. *Ibid.*, p. 293.

STATISTIQUE DES ÉGOUTS DE LA VILLE DE PARIS.

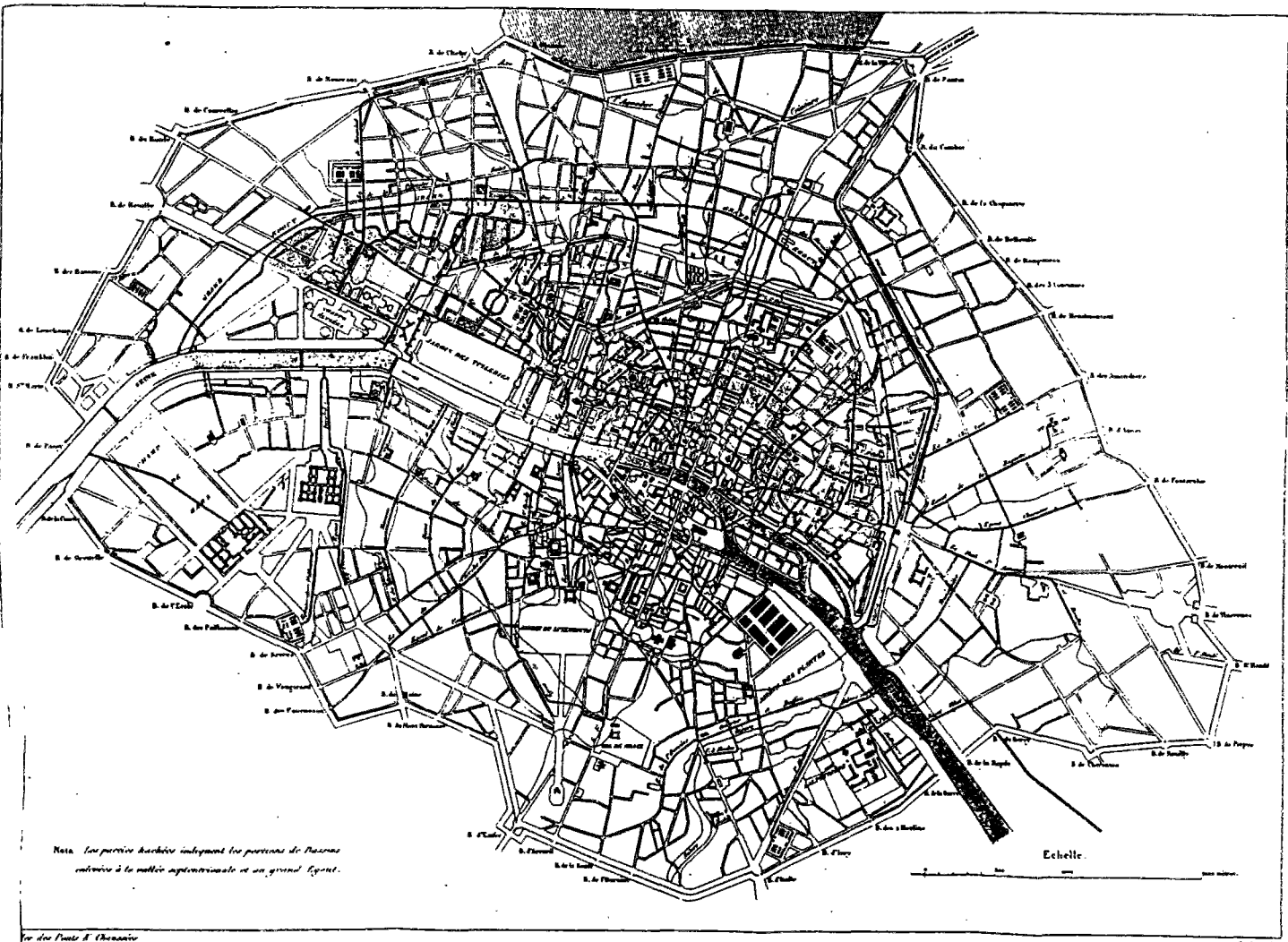


Figure 47. Egouts et bassins versants de Paris (1836).

Les bassins versants sont séparés par les lignes pointillées ; les zones hachurées indiquent les portions de bassins enlevées à la vallée septentrionale et au grand Egout.

Source : H. C. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (année 1836)", A.P.C.,
2e sem. 1836, pl. CXXIV.

Trois innovations qui montrent l'impact de la révolution industrielle, et ce nouveau regard que nous avons déjà entrevu sur l'espace qu'il ne s'agit plus seulement de connaître mais aussi de remodeler suivant la doctrine de l'abiotisme : les nouveaux bassins versants de Paris s'éloignent du relief de la capitale et des "sujétions inhérentes aux villes anciennes"¹ puisqu'ils sont subordonnés au réseau souterrain (figure 47). Au 1er janvier 1837, 1 545 hectares sont asséchés et assainis, sur les 3 400 hectares que compte la capitale², non sans difficultés.

Le système d'égouts qui découle de l'hydrologie de Belgrand précise les projets et réalisations de la Monarchie de Juillet. Une distinction majeure est néanmoins à signaler dans le plan d'ensemble. En effet, alors que Girard, puis Emmery, avaient divisé la ville en bassins versants de faible importance — "les dimensions, les pentes, l'altitude des radiers des égouts étaient fixés sans qu'on se préoccupât du bassin voisin"³ —, "le nouvel ensemble, au contraire, établissait en principe une solidarité complète entre les égouts débouchant dans le même collecteur."⁴ Les rejets en Seine *intra muros* doivent être supprimés et remplacés par des collecteurs longeant le fleuve puis coupant sa boucle afin d'assainir la Seine⁵ : la ville se débarrasse définitivement de ses eaux surabondantes. L'adoption du profil ovoïde à parois minces, importé d'Angleterre en 1851, permet une nouvelle fois de réduire les coûts de construction, bien que son utilisation soit freinée par les réticences de l'administration⁶. En 1877, alors que la superficie de Paris a plus que doublé pour atteindre 7 500 hectares après l'annexion en 1860 d'une partie des communes périphériques, 6 500 hectares sont drainés par le réseau⁷.

Nous pourrions nous arrêter là : l'adduction en eau suit son cours, les égouts sont en voie d'achèvement, le sol s'imperméabilise petit à petit. L'abiotisme règnerait-il sur la cité ? Si tel était le cas, le nouveau cycle urbain — cycle de l'eau, cycle des déchets — fonctionnerait parfaitement — et peut-être serait-ce encore le cas aujourd'hui.

¹. *Ibid.*, p. 301.

². *Ibid.*, p. 294.

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 44.

⁴. *Ibid.*, p. 44.

⁵. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 321.

⁶. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 40.

⁷. *Ibid.*, p. 143.

Mais il n'en est rien. Car finalement, plus que siècle de l'utilitarisme, le XIXe siècle consacre, dans la gestion urbaine s'entend, le résidu inutile, qu'il soit liquide ou solide. L'avènement de l'hygiénisme génère le déchet par l'apparition des eaux usées qui liquéfient les vidanges et plus généralement parce qu'il entraîne une rupture des cycles trophiques. Si l'on peut affirmer que les 100 000 rats¹ de Montfaucon permettaient auparavant le recyclage complet des chevaux morts, dès la Monarchie de Juillet les tentatives de rationalisation du recyclage se soldent par des échecs : l'épisode de l'épandage en est l'exemple le plus frappant². Une des solutions adoptées dans la première moitié du XIXe siècle sera le rejet dans les entrailles de la terre, ces mêmes entrailles dont on craignait tant les exhalaisons minérales et putrides.

En ce qui concerne les voiries, chantiers d'équarrissage, cimetières, activités insalubres, nous avons vu que les Lumières préconisaient leur mise à l'écart de la ville, projet réalisé pour partie à la fin de l'Ancien Régime et sous le Premier Empire : Montfaucon est déplacée dès 1761, de nouveaux cimetières sont créés. On a définitivement abandonné les inhumations dans les églises, sauf en cas de force majeure, en 1830 par exemple : quarante trois cadavres sont inhumés dans l'église Saint-Eustache, dont un seul dans un cercueil. Malgré le chlorure de chaux, "quinze jours s'étaient à peine écoulés [...] qu'on reconnut la présence d'une odeur putride, tant au-dedans qu'à l'extérieur de l'église [...] on reconnut aisément qu'elle s'échappait par le parquet et le sol"³. On est conduit à "enlever les cadavres, quel que fût leur état de putréfaction"⁴, qui était d'ailleurs très avancée. Mais depuis les exhumations des Saints-Innocents, on connaît la marche à suivre et les techniques de désinfection, en l'occurrence les aspersions de chlorure. En 1839, on déplore encore une fois un mort par asphyxie — "produite par des vapeurs méphitiques"⁵ — pendant une exhumation, une asphyxie par le plomb dans l'égout de la barrière Blanche en 1840⁶. Si les feux follets se manifestent encore dans certains égouts⁷, les accidents mortels s'y font plus rares.

¹. "S'il existe un peu d'exagération dans le nombre de cent mille, auquel a été porté la quantité de ces animaux, on ne peut disconvenir qu'il doit s'en rapprocher beaucoup." PARENT-DUCHÂTELET, "Des chantiers d'équarrissage (...)", *op. cit.*, p. 95.

². D'autant plus que l'industrie privée se substitue aux productions collectives urbaines.

³. PARENT-DUCHÂTELET, "Note sur les inhumations et les exhumations qui ont eu lieu à Paris, à la suite des événements du mois de juillet 1830", *A.H.P.M.L.*, t. 4, 1830, pp. 70-71.

⁴. *Ibid.*, p. 72.

⁵. A. GUERARD, "Asphyxie pendant une exhumation", *A.H.P.M.L.*, t. 23, 1840, p. 133.

⁶. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 181.

⁷. *Ibid.*, p. 178.

Mais il y a toujours, *in fine*, un endroit à corrompre. On voit ici se mettre en place le système que nous connaissons. La ville dépose ses résidus à ses limites : zones maraîchères, sous-sol. Car l'étanchéité tant recherchée en milieu urbain ne résout pas la question du rejet ultime : même un clos d'équarrissage idéal, un système d'égout diffusé dans toute la ville ou une vidange inodore ont besoin d'un exutoire. Mais en premier lieu, il nous faut examiner l'intérieur de la ville.

III.4. DYSFONCTIONNEMENTS

III.4.1. LA PEAU

"Paver la voie publique, c'est la revêtir d'une croûte imperméable aux eaux pluviales, et assez compacte et solide pour résister aux frottements les plus répétés, ainsi qu'au choc des voitures les plus lourdement chargées."

J. B. MONFALCON, A. P. I. de POLINIERE, *Traité de la salubrité des grandes villes*, (...), Paris, 1846, p. 98.

a) *La ville imperméable ?*

Malgré ses considérations sur le sol naturel, Belgrand n'évoque pas explicitement l'imperméabilisation du sol urbain. A cela plusieurs raisons : d'une part, que représentent les 75 km² de la capitale eu égard aux 20 000 km² imperméables dans le bassin de la Seine ? D'autre part, l'imperméabilisation — si imperméabilisation il y a — s'accompagne toujours jusqu'au XIX^e siècle, d'un exhaussement du sol, donc d'une relative amélioration de la protection contre les crues. La figure 48 montre que l'impact des grandes crues de 1658, 1740 et 1802 dans le Paris de 1870 serait bien moindre, malgré leur hauteur considérable¹ (tableau 39). Néanmoins, Belgrand souligne "la difficulté pratique de l'application du remède héroïque, proposé par les anciens ingénieurs, qui consistait à relever convenablement le sol de la ville"² pour la préserver des inondations.

¹. L'exhaussement n'en est pas la seule cause : l'élimination des moulins flottants au cours de la période 1804-1810 permet de réduire l'encombrement du lit du fleuve, dénoncé au XVIII^e siècle notamment par Deparcieux (chap. I, § I.2.2, a).

². BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 320.



Figure 48. Plan de Paris indiquant les parties submergées par les grands débordements de la Seine, avec le relief de 1870.

"La crue de 1658, si on la laissait se développer librement, couvrirait encore 1,166 hectares ; celle de 1740, 720 hectares ; celle de 1802, 455 hectares." (p. 320)

Source : BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. I, *Etudes préliminaires : la Seine (...)*, Paris, 1873, pl. X, pp. 319-320.

Tableau 39. Hauteur des plus grandes crues de la Seine dans Paris (1615-1850).

Date	Hauteur au-dessus de l'étiage* (mètres)	Date	Hauteur au-dessus de l'étiage* (mètres)
11 juil. 1615**	9,04	3 et 4 mars 1784	6,66
Févr. 1649	7,66	9 déc. 1801	6,22
25 janv. 1651	7,83	3 janv. 1802	7,45
27 févr. 1658	8,81	3 mars 1807	6,70
27 févr. 1690	7,55	13 mars 1817	6,30
27 mars 1711	7,62	17 déc. 1836	6,40
26 déc. 1740	7,90	3 février 1850	6,07
9 févr. 1764	7,33		

* Etiage supposé représenté par le zéro de l'échelle du pont de la Tournelle (basse eaux de 1719)

** "On n'a trouvé aucun repère de cette crue dont l'existence peut être mise en doute", précise Belgrand.

D'après : E. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, p. 51.

Enfin, quel est le taux réel d'imperméabilisation de Paris au XIX^e siècle ? Il est évident qu'il a dû beaucoup évoluer, du fait des différents revêtements de chaussées et de l'adoption des trottoirs. Dès 1826, Devilliers affirme du grand-égout que "sa largeur est insuffisante depuis que la construction et le pavage de plusieurs nouveaux quartiers a augmenté la superficie du sol imperméable aux eaux de pluie"¹. Plus tard, Belgrand estime qu'un tiers de l'eau de pluie se rend dans les égouts². Cependant, l'imperméabilisation n'inquiète pas outre mesure au Second Empire, comme le montre Haussmann :

"C'est le volume des eaux que peut amener dans un égout une pluie abondante ou quelque violente averse, qui doit servir de guide pour la Section à lui donner.

.....

"Heureusement, cette masse d'eau se dirige vers les bouches d'égout avec beaucoup moins de rapidité qu'elle ne tombe du ciel [...]. D'ailleurs, les terrains vacants, les parcs et jardins, le sol même de la Voie Publique en absorbent une grande quantité. Les surfaces qu'elle ne peut pénétrer, comme les toits des monuments et des habitations et les aires des trottoirs, en retiennent cependant une certaine couche qui s'évapore."³

¹. DEVILLIERS, *Description du canal (...)*, op. cit., p. 60.

². DUPUY, KNAEBEL, op. cit., p. 170.

³. *Mémoires du baron Haussmann*, vol. 2, op. cit., p. 102.

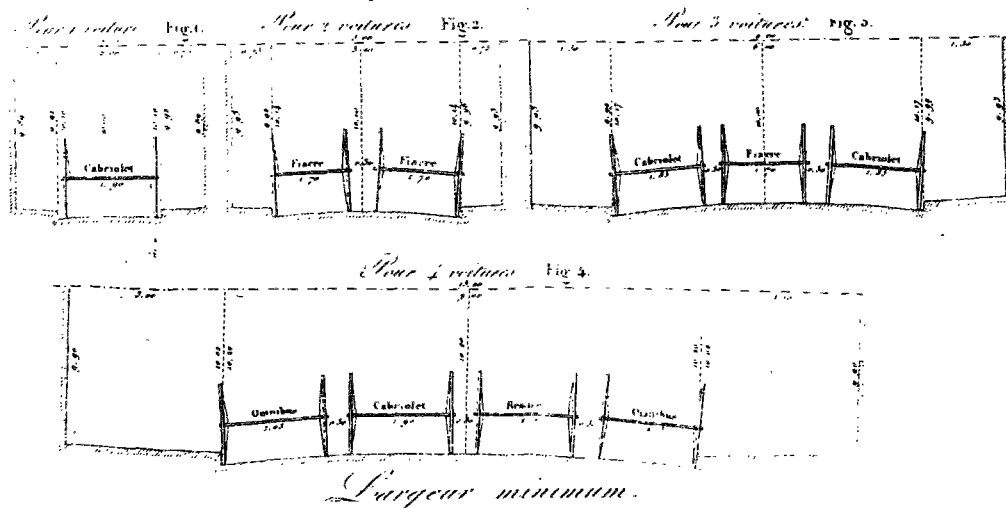
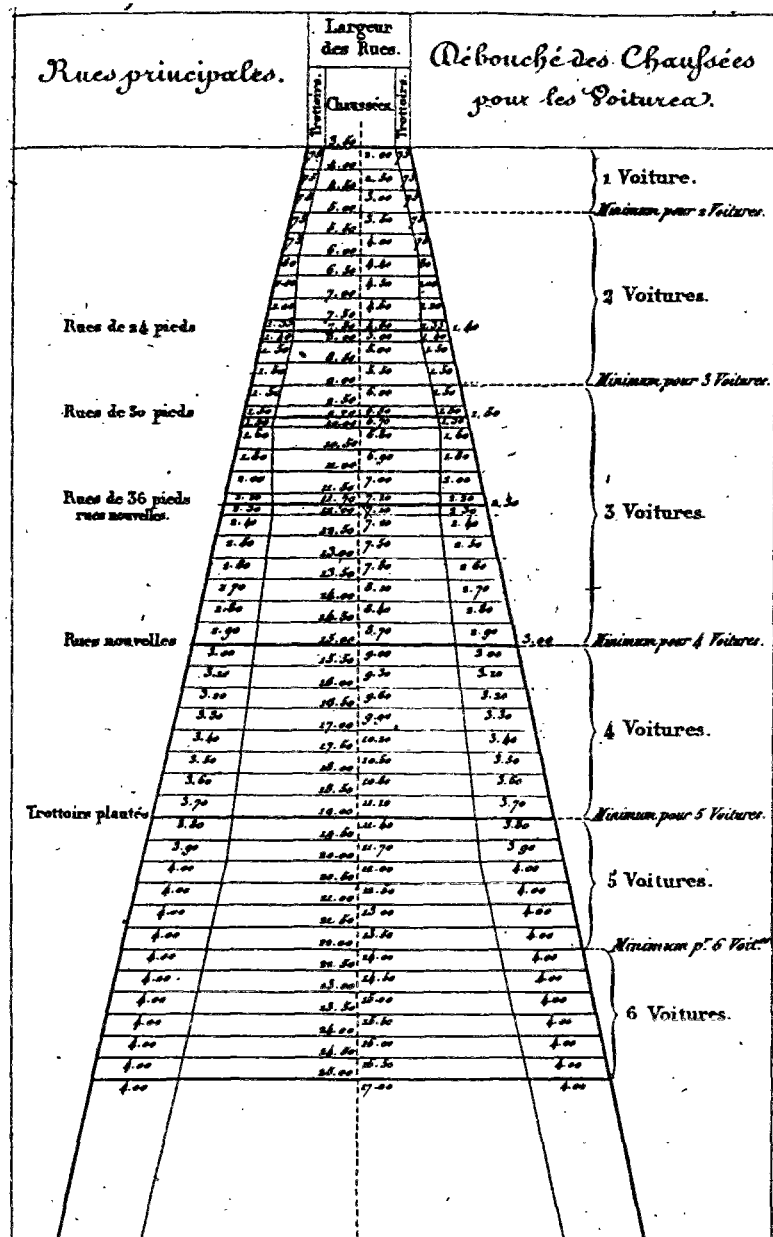


Figure 49. Largeurs de trottoirs et de chaussées à Paris.

Source : PARTIOT, "Notice sur les largeurs à assigner aux chaussées et aux trottoirs des villes", A.P.C., 2e sem. 1838, p. 82, pl. CLVI.

En effet, depuis le début du siècle, les trottoirs ont connu un essor considérable. En 1818, l'administration favorise leur introduction, et, en 1838, on en compte déjà 120 km courant à Paris¹. Leur développement est d'ailleurs l'occasion pour l'ingénieur des Ponts et Chaussées Partiot de proposer une première règle de dimensionnement des largeurs de chaussées et trottoirs, selon la largeur de la rue et le nombre de voitures pouvant circuler de front, règle motivée par l'étroitesse des trottoirs existants² (figure 49). Or, ceux-ci sont dallés ou souvent recouverts de bitume³, qui, comme le remarquent Monfalcon et Polinière, "étendu en couche mince est des meilleurs [systèmes] ; il est résistant, élastique, durable ; sa surface, toujours lisse, ne retient pas les eaux pluviales, et est bientôt sèche après les pluies"⁴ : le bitume est le prototype du revêtement imperméable. Il est d'ailleurs préconisé pour isoler les planchers des habitations des sols trop humides⁵, et utilisé pour isoler les fondations en béton dans les ouvrages hydrauliques⁶.

Quant à la chaussée courante, on y applique le pavage si longuement étudié au XVIIIe siècle. A Paris, le grès a toujours bonne presse : "débité en cubes et placé sur une couche de sable ; le grès a une très grande dureté ; il résiste longtemps sans éprouver d'avaries notables."⁷ On expérimente aussi le "pavage en cubes de bois très dur, taillés à pans. [...] Ce pavage est beaucoup plus solide qu'on ne l'aurait présumé. Il fait de la voie publique une sorte de parquet [...]. Dans les temps de pluie, ce pavé se couvre d'une couche légère de détritrus végétal ; il ne retient pas plus la boue qu'un autre [...] ; mais la

1. PARTIOT, "Notice sur les largeurs à assigner aux chaussées et aux trottoirs des villes", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, p. 77. Le début du XIXe siècle voit s'amplifier la polémique que nous avons vu naître au XVIIIe siècle autour de l'utilité des trottoirs ; à ce sujet, voir : A. GUILLERME, "Le pavé de Paris", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, pp. 67-68.

2. Ce qui est rarement le cas aujourd'hui.

3. Les premières expériences de revêtement par le bitume ont lieu à Lyon en 1836-1837. M. LEBLANC, "Mastic bitumineux", *A.P.C.*, 1er sem. 1837, pp. 168-176.

4. MONFALCON, POLINIÈRE, *op. cit.*, p. 99.

5. PIORRY, *op. cit.*, p. 20.

6. C. L. TREUSSART, *Mémoire sur les mortiers (...)*, Paris, 1829, p. 163 ; BARRE de SAINT-VENANT, "De l'emploi des toiles imperméables dans les fondations par immersion", *A.P.C.*, 1er sem. 1834, pp. 125-128.

7. MONFALCON, POLINIÈRE, *op. cit.*, pp. 98-99.

dépense est considérable"¹. Son utilisation se développera néanmoins fortement à la fin du XIX^e siècle².

Tous ces revêtements — bitume, pavés — vont effectivement dans le sens d'une imperméabilisation et d'une mort biologique du sol — avec quelques réserves sur ce second terme en ce qui concerne le bois. Mais le macadam est entré dans la ville.

Dans la méthode décrite par Navier³, la perméabilité de la chaussée est essentielle. Mais dans les faits, la dernière couche de cailloux est généralement recouverte de tout-venant, et la circulation des voitures use les pierres et tasse l'ensemble qui peut devenir suffisamment compact pour être très faiblement perméable. Bien plus, pour Girard de Caudemberg, "par cette méthode le roulage devient, par le fait, un des moyens d'exécution de la chaussée qui, dans le cas où elle ne serait parcourue que par des voitures légères, ne se *macadamiserait* jamais."⁴ En effet, les pierres anguleuses utilisées donnent au moins 50 % de vide à la chaussée, et seule la fragmentation superficielle due au roulage peut lier les cailloux :

"il s'ensuit qu'on devrait en venir à proscrire les pierres les plus dures, les siliceuses surtout, parce que leur détritius n'est que du sable, qui laisse pénétrer l'humidité avec la plus grande facilité, et qui perd toute consistance par la sécheresse. Ainsi les matériaux les plus résistants, [...] ceux qu'on choisit pour les chaussées pavées, ne doivent donner jamais que de mauvaises chaussées d'empierrement."⁵

Girard de Caudemberg en veut pour preuve que Mac Adam lui-même utilise des pierres calcaires⁶. Son modèle est donc celui d'une route imperméable, liée par le mortier naturel du calcaire ou, mieux, par un mortier introduit lors de la construction de la route — "cette maçonnerie doit pouvoir se préparer et se massiver comme nos bétons"⁷ —, ce qui permettrait d'utiliser les pierres siliceuses plus solides.

¹. *Ibid.*, pp. 99-100.

². Les pavés de bois couvrent un peu plus de 40 000 m² de la voirie parisienne en 1888 et 1 150 000 m² en 1900. L. MAZEROLLE, "Pavage en bois", in : *Troisième congrès international de la route*, Paris, 1913, communication n° 31, p. 32.

³. Cf. *supra*, § III.2.2, c.

⁴. GIRARD de CAUDEMBERG, "Extrait d'un mémoire daté du 6 juin 1831, sur un nouveau système d'empierrement et d'entretien des routes", *A.P.C.*, 2^e sem. 1831, p. 334.

⁵. *Ibid.*, pp. 334-335.

⁶. Ce qui est confirmé par Navier ("Considérations sur les travaux d'entretien (...)"), *op. cit.*, p. 147).

⁷. GIRARD de CAUDEMBERG, "Extrait d'un mémoire (...)", *op. cit.*, p. 335.

Quoi qu'il en soit, on peut penser qu'à terme la chaussée macadamisée, quel que soit son mode de réalisation, autorise un très faible passage à l'eau. Encore faudrait-il connaître ce terme. En outre, elle est une grande productrice de boue et de poussière.

b) L'asphyxie du sol

Le revêtement affecte la vie du sol urbain des Lumières. En effet, cette respiration-expiration de la terre, des murs, se dérègle, comme dans un corps malade¹, et tend à disparaître, ce qui n'est pas forcément un bienfait, comme le remarque dès 1822 Lachaise, lorsqu'il traite de l'eau des puits parisiens : "elle tient en dissolution du nitrate de potasse et du carbonate d'ammoniaque. La présence de ces sels [...] est le résultat inévitable de l'imprégnation spontanée du sol par les matières animales de toutes sortes, putréfiées, et que l'obstacle que la disposition du pavé des rues oppose à sa transpiration"². De même, le chimiste Eugène Chevreul, qui lit en 1846 à l'Académie des Sciences son "Mémoire sur plusieurs réactions chimiques qui intéressent l'hygiène des cités populeuses" — mémoire qui constitue une synthèse des connaissances sur le sol urbain —, souligne que s'il faut "favoriser la dessiccation de la surface du sol et des murs des rez-de-chaussée"³, le pavage apparaît comme une arme à double tranchant. Certes, il empêche l'infiltration des eaux usées et des matières insalubres et est par ailleurs nécessaire à la circulation des piétons et des voitures ; "cependant il entraîne des conséquences qui compromettent l'usage des eaux de puits comme boisson"⁴ : empêchant l'infiltration des eaux pluviales, il interdit le renouvellement de l'eau des puits. Le recours aux plantations d'arbres — "il faudra être sûr que l'exposition leur conviendra, que leurs racines auront l'espace convenable en superficie et en profondeur, pour s'étendre sans

¹. Russell C. Maulitz (*Morbid appearances : the anatomy of pathology in the early nineteenth century*, Cambridge : Cambridge university press, 1987, p. 24) a montré l'attention particulière portée aux systèmes exhalant et absorbant dans la médecine de la toute fin du XVIII^e siècle et du début du XIX^e siècle, symbolisée par les premiers travaux de Xavier Bichat sur les membranes : "Dissertation sur les membranes et sur leurs rapports généraux d'organisation", *Mémoires de la société médicale d'émulation*, 1798. Voir aussi : DUCHESNAU, *op. cit.*, p. 431 sq.

². LACHAISE, *op. cit.*, pp. 255-256.

³. E. CHEVREUL, "Mémoire sur plusieurs réactions chimiques qui intéressent l'hygiène des cités populeuses", *A.H.P.M.L.*, t. 50, 1853, p. 23.

⁴. *Ibid.*, p. 21. Il n'est peut-être pas inutile de rappeler que, malgré l'adduction en eau, 30 000 puits sont encore en service à Paris en 1879. E. GERARDS, *Paris souterrain*, Paris, 1907, p. 146.

nuire aux fondations des maisons et aux murs des égouts."¹ — permet de rétablir le cycle de l'eau :

"Les racines ramifiées à l'infini enlevant à la terre qui les touche l'eau avec des matières organiques et des sels que ce liquide tient en solution, rompt l'équilibre d'humidité des couches terrestres ; dès lors, en vertu de la capillarité, l'eau se porte des parties terreuses les plus humides à celles qui le sont le moins en raison de leur contact avec les racines, et ces organes deviennent ainsi la cause ascensionnelle d'un mouvement incessant de l'eau souterraine, extrêmement favorable à la salubrité du sol."²

La finesse des observations de Chevreul l'amène aussi à examiner les interactions entre le sol — que Villermé voulait croire inerte car composé de gravats — et les matières organiques : les roches siliceuses sont inertes,

"Mais si nous supposons que des sols et des murs perméables à l'eau soient formés [...] de sous-carbonate de chaux, ou bien à la fois de ce sel et de sulfate de chaux, des réactions chimiques auront lieu inévitablement, les eaux deviendront plus ou moins calcaires ; partout où le sous-carbonate de chaux poreux sera en contact avec l'eau, l'air et une matière azotée, il se produira des azotates à base de chaux, de potasse, de magnésie, que ce sous-carbonate de chaux fasse partie du sol ou d'une construction. Enfin, [...] lorsque le sol contiendra du sulfate de chaux, partout où il sera en contact avec une grande masse de matière organique [...] sans le contact de l'air, il se produira du sulfure de calcium."³

C'est pourquoi "le sulfate de chaux, employé comme plâtre, et à plus forte raison comme moellon à l'état de pierre à plâtre, doit être éloigné"⁴ de la construction des fosses d'aisances qui doivent, bien entendu, être étanches.

En outre, la composition du sol évolue. On y trouve encore des matières organiques (débris végétaux, animaux, humains), et une grande quantité de fer, comme le montrent les analyses de Chevreul :

"Lorsqu'on traite à l'acide chlorhydrique la matière noire qui colore la terre sableuse que l'on trouve sous les pavés de Paris, on peut n'obtenir qu'une simple solution de protoxyde et de peroxyde de fer. De sorte que le fer provenant du frottement des roues des voitures, des fers des

¹. CHEVREUL, *op. cit.*, p. 32.

². *Ibid.*, pp. 32-33.

³. *Ibid.*, p. 17.

⁴. *Ibid.*, p. 21.

pieds des chevaux, qui est entraîné entre les pavés et dissous par les eaux pluviales, est passé alors à l'état d'oxyde intermédiaire [...]. Mais on observe dans certains cas que la matière noire dégage de l'acide sulfhydrique, de sorte qu'alors elle est un vrai protosulfure de fer, lequel peut être pur ou mélangé d'oxyde intermédiaire de fer."¹

Elle "apporte donc un obstacle réel à la transmission de l'oxygène que l'eau entraîne dans le sol"². Néanmoins, il est certain que teneurs en matières organiques et en fer, plus tard, ne feront que baisser en centre urbain. Les premières vont se déplacer vers la périphérie dès le Second Empire, alors que l'abandon progressif du cheval pour la traction et l'avènement du pneumatique diminueront les apports en fer à partir du XXe siècle, bien que le tramway compense en partie cette perte.

Mais, parallèlement, de nouveaux matériaux ont investi la ville. Ainsi, le cuivre, utilisé dans les années 1830 pour la construction de cheminées, se combine avec les produits de la combustion de la houille, d'où une "production assez extraordinaire d'une grande quantité de sulfate de cuivre anhydre"³. Le phénomène serait inoffensif si le courant d'air ne l'entraînait pas au-dehors. Là, il "retombe sur les toits environnants. Les eaux pluviales dissolvent ce sel, et le conservent en dissolution dans les citernes destinées à les recevoir. [...] Le sel de cuivre entraîné dans les citernes étant dissous, aucune partie de ce sel ne se dépose de préférence au fond."⁴

Cependant les cheminées en cuivre ne semblent pas avoir eu un grand succès — on en compte néanmoins quatorze à Roubaix en 1836⁵ —, alors que l'utilisation du bitume pour les revêtements de sol et la couverture de certains bâtiments, du zinc pour les toitures connaissent un essor considérable. Le premier, une fois posé, est inoffensif, mais sa préparation dégage des odeurs nauséabondes ; si elle ne présente pas de danger pour la santé selon Parent-Duchâtelet, il préconise néanmoins son éloignement des habitations et son classement dans la première catégorie des établissements dangereux, insalubres et incommodes⁶. "L'eau qui coule sur les toitures en zinc est-elle potable ? (...)", se

¹. *Ibid.*, p. 36. Voir aussi : H. BRACONNOT, "Examen de la boue noire provenant des égouts", [Extrait des *Annales de physique et de chimie*], *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 132-134.

². CHEVREUL, *op. cit.*, p. 39.

³. KUHLMANN, "Rapport sur les inconvénients qui peuvent résulter de l'emploi du cuivre dans la construction des cheminées", *A.H.P.M.L.*, t. 16, 1836, p. 322.

⁴. *Ibid.*, pp. 326-327.

⁵. *Ibid.*, p. 326.

⁶. PARENT-DUCHÂTELET, "De l'influence que peuvent avoir sur la santé les émanations provenant de la fonte et des préparations diverses que l'on fait subir au bitume asphaltique", *A.H.P.M.L.*, t. 14, 1835, pp. 65-87.

demande le pharmacien Boutigny en 1841 ; il répondra par la négative¹. Avec le développement de l'hydrothérapie, on dénonce l'écoulement dans le ruisseau des eaux hydro-sulfurées (en 1829, on prend 7 750 bains sulfureux à l'hôpital Saint-Louis²), composées "1° de sulfures alcalins, les sulfures de calcium de potassium, de sodium, obtenus par voie sèche ; 2° de proto-sulfure de sodium cristallisé, connu sous le nom d'*hydrosulfate de soude* ; 3° de sulfures alcalins, auxquels on ajoute une quantité d'acide sulfurique"³, car elles risquent de se combiner avec les acides des manufactures⁴. Pour Chevreul, il faut se garder "des matières métalliques, cuivreuses, arsenicales, etc., qui, échappées de certaines usines, pénètrent dans les puits"⁵ ; "de toute matière combustible qui empêche l'oxygène atmosphérique de pénétrer dans le sol [...], tel est le fer détaché des roues des voitures et des fers des chevaux, qui, à cause de sa grande division, a une grande tendance à absorber l'oxygène gazeux."⁶ En effet, les matières organiques ne peuvent être neutralisées que par une combustion par l'oxygène, favorisée par la lumière.

Enfin, depuis la pose des premiers becs en 1816, la distribution du gaz ne cesse d'étendre ses rameaux : 500 km de conduites au milieu du XIXe siècle, 1 700 km en 1905⁷. Or, comme le remarque Jean-Pierre Williot, "la plaie des fuites ne fut au fond jamais réglée"⁸ ; outre les pertes financières qui en résultent, elles représentent un réel danger, comme le montre Chevreul :

"L'infection du sol n'est pas produite par le gaz proprement dit ; elle provient des vapeurs liquéfiables entraînées avec lui dans les tuyaux de conduite, desquels, en s'échappant par des fuites, soit à l'état de liquide, soit à l'état de vapeur, elles se répandent dans la terre où ces tuyaux sont ordinairement enfouis. [...] L'effet [...] n'est pas borné à l'odeur fétide qui se manifeste au moment

¹. BOUTIGNY, "L'eau qui coule sur les toitures en zinc est-elle potable ? (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 17, 1837, p. 294. Voir aussi : CHEVALLIER, A. ARTHAUD, "Note sur l'usage du zinc et sur les inconvénients qui résultent de l'emploi de ce métal", *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, pp. 352-373.

². "Rapport sur le curage des égouts (...)", *op. cit.*, p. 125.

³. CHEVALLIER, "Des inconvénients qui résultent de l'écoulement, sur la voie publique, des eaux hydro-sulfurées provenant des bains ; moyens de faire cesser ces inconvénients", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, p. 27.

⁴. *Ibid.*, p. 30.

⁵. CHEVREUL, *op. cit.*, p. 20.

⁶. *Ibid. loc. cit.*

⁷. J. P. WILLIOT, "Nouvelle ville, nouvelle vie : croissance et rôle du réseau gazier parisien au XIXe siècle", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, p. 218.

⁸. *Ibid.*, p. 220.

où des réparations obligent à remuer le sol [...], mais il va jusqu'à frapper de mort les arbres dont les racines touchent au sol infecté, et à corrompre les puits"¹.

Et il peut aller jusqu'à entraîner mort d'homme : en 1841, une famille est plus que décimée — seule la mère survit, le père, les trois enfants et la servante périssent — après avoir respiré pendant quarante heures le gaz qui, "après être sorti du tuyau de conduite, s'était infiltré à travers les terrains environnants jusque dans une cave située au-dessous du logement de cette malheureuse famille et communiquant largement avec lui."² A la fin du Second Empire, la Compagnie parisienne évalue les pertes de gaz à 12 à 15 % de la consommation totale³ : "tous les habitants de Paris ont pu remarquer que lorsqu'on relève une conduite de gaz, le sol environnant est entièrement noir et exhale l'odeur si caractéristique de l'hydrogène carboné provenant de la distillation de la houille"⁴, précise Belgrand.

Mais si le sol recouvert de pavés conserve ses matières délétères par manque de transpiration, la surface de la ville n'en est pas pour autant assainie.

c) Les nouvelles boues

Tout et tous militent pour une réduction des boues. Cependant, elles sont inhérentes au macadam, comme le remarque un ingénieur des Ponts et Chaussées anonyme :

"La boue en hiver, la poussière en été, sont choses fort incommodes aux voyageurs qui fréquentent les routes : l'ébouement est donc une opération avantageuse au roulage [...].

"Les vides d'un empierrement ne peuvent être remplis que par des graviers et du sable, et on ne peut concevoir une chaussée liée et compacte où ces deux éléments n'entreraient pas dans une certaine proportion. Il serait donc absurde de chercher à enlever tous les détritiques que la chaussée contient, et de s'imaginer que l'empierrement serait alors plus capable de résister à l'action du

¹. CHEVREUL, *op. cit.*, p. 19.

². LISLE, "Note de lecture : *Relation médicale des asphyxies occasionnées à Strasbourg par le gaz d'éclairage* ; par G. Tourdes, professeur de médecine légale à la faculté de Strasbourg (Paris, 1841, 84 p.)", *A.H.P.M.L.*, t. 27, 1842, p. 233.

³. "Sans doute ce chiffre de pertes apparentes est dû en grande partie à la difficulté de bien apprécier la consommation de l'éclairage public et privé ; mais une partie aussi doit être attribuée aux fuites". BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 206.

⁴. *Ibid.*, *loc. cit.*

roulage, puisqu'il est certain que, si cela était possible, d'autres détritux se reformeraient à l'instant, aux dépens des pierres restantes."¹

En milieu urbain, cette production de boue n'est pas sans inconvénient. Hyppolithe Mougey, aspirant-ingénieur des Ponts et Chaussées envoyé en mission en Angleterre, s'en retourne en 1838 fort sceptique à l'égard du choix fait à Londres où, "si on en excepte quelques points tel que la partie fréquentée de la Cité, où l'immense circulation des voitures forçait de conserver le pavé, il semble que depuis une quinzaine d'années on ait eu en vue de macadamiser la ville entière"². En effet, en cas de pluie, seuls les trottoirs sont praticables, la chaussée étant recouverte d'"une épaisse boue liquide ; et il serait impossible de les traverser si des milliers de pauvres, qui réclament pour cela une légère aumône des passants, ne se chargeaient de frayer avec des balais des passages à l'intersection des rues."³ En période de sécheresse, la poussière n'est contenue qu'à grand renfort d'arrosage. Enfin, "les rues macadamisées présentent relativement aux égouts cette particularité qu'il faut y exercer une grande surveillance pour empêcher qu'on fasse tomber à travers les grilles les amas de boue qu'on est obligé d'enlever de ces rues après chaque pluie"⁴. A Edimbourg, l'entretien des zones macadamisées avec leurs océans de boue trop liquide coûte "plus de quatre fois ce que coûtait auparavant le pavé"⁵, souligne Ramsay, surintendant des travaux municipaux de la ville, qui évoque "l'humidité continuelle qu'on remarque en hiver dans les rues macadamisées, le dommage causé aux marchandises dans les boutiques, aux meubles dans les maisons"⁶, ajoute que le macadam fatigue les chevaux, contrairement à ce qu'on affirme en France à la même époque⁷. "Je ne vois d'autre avantage à l'application du *macadam* aux rues des grandes villes que l'absence de bruit"⁸, précise-t-il, mais le jeu en vaut-il la chandelle ? Mougey

1. M. B., "Expériences pour mesurer, dans des circonstances données, et d'une manière directe, l'action destructive du roulage sur les routes en empierrement", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, p. 199.

2. MOUGEY, *op. cit.*, p. 157.

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

4. *Ibid.*, p. 156.

5. RAMSAY, "Rapport au prévôt des marchands d'Edimbourg sur les rues macadamisées", juil. 1837, cité par MOUGEY, *op. cit.*, p. 158.

6. *Ibid.*, p. 159.

7. Des expériences prouveraient que la force de deux chevaux sur une chaussée pavée équivaut à celle de cinq chevaux sur une chaussée macadamisée en très-bon état, huit si elle est couverte de poussière, dix lorsqu'elle est humide et couverte de boue. Cité par MOUGEY, *op. cit.*, p. 160.

8. RAMSAY, *op. cit.*, p. 158.

conclut que, bien que l'on songe à repaver les rues londoniennes, le développement de la circulation hippomobile peut expliquer l'engouement d'outre Manche pour le macadam, qui réduit considérablement le *cahotage*, d'autant plus que les piétons peuvent se réfugier sur les très beaux trottoirs¹ (figure 50).

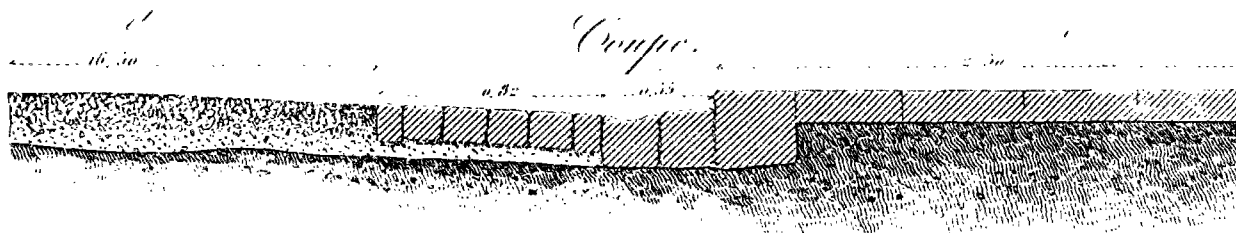


Figure 50. Chaussée macadamisée dans Prince's street à Edimbourg.

Source : H. MOUGEY, "Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edimbourg", A.P.C., 2e sem. 1838, pl. CLVIII, fig.10.

A Paris, on avait cru que, grâce à l'abondance de l'eau qui parcourt les égouts depuis la distribution des eaux de l'Ourcq, c'en serait fini des engorgements tels que ceux des années 1820 où l'égout Amelot fait barrage aux eaux qui refluent sur la chaussée et dans les parties basses des maisons — une première tentative de curage se solde par la mort d'un ouvrier. L'événement avait d'ailleurs été l'occasion d'une première prise en compte des conditions de travail des ouvriers chargés du curage, et d'une organisation stricte des opérations².

Mais la macadamisation de la capitale fait resurgir le problème des engorgements : d'après Belgrand, dans les années 1870, on retire annuellement environ 22 500 m³ de sable des égouts, ce qui représente une dépense de 360 000 francs³. Non seulement le macadam génère une très grande quantité de boues, mais aussi ces boues sont de nature très différente de celles qui proviennent des chaussées pavées : "elles sont plus lourdes, et

¹. MOUGEY, *op. cit.*, p. 162.

². "Rapport sur le curage des égouts (...)", *op. cit.*, pp. 5-159.

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 179.

il est souvent impossible de les faire descendre jusqu'à la Seine dans les galeries à faible pente, avec le seul secours de l'eau."¹ Elles forment dans les conduites des amoncellements ou *batards* qui sont susceptibles de constituer un véritable barrage à l'écoulement des eaux², que seuls les wagons-vannes, expérimentés dès 1854³, peuvent prévenir.

A la fin du XIXe siècle, la crainte de la poussière, fléau de la Belle Epoque, dépasse celle de l'humidité, réhabilitée comme une alternative au mouvement de l'air et louée par le médecin Hippolyte Marié-Davy :

"L'humidité du sol est un obstacle efficace à la diffusion des germes nocifs ; la sécheresse la favorise. L'arrosage et le lavage des voies publiques est donc une mesure d'autant plus favorable à l'hygiène que l'opération est plus fréquemment répétée.

"Le frottage, le balayage, l'époussetage des appartements ou des lieux publics aident à la diffusion des germes, qui se trouvent rejetés dans l'air d'où ils s'étaient déposés ou qui ont pris naissance sur place. Le type du nettoyage des lieux encombrés est celui que les marins adoptent pour leurs navires : le lavage à grande eau. [...] Au lieu de refaire à neuf les locaux infectés, le mieux est d'en empêcher l'infection ou de la détruire quand elle existe. L'épaisseur des murs n'y est pour rien : les miasmes ne viennent nullement de leur profondeur : c'est leur surface interne qu'il faut assainir et renouveler."⁴

Mais il faut "chercher contre la poussière des routes un autre remède que le pavage trop coûteux, l'arrosage à l'eau et le balayage devenus insuffisants depuis l'automobilisme"⁵, affirme en 1908 le docteur Guglielminetti, fondateur de la *Ligue*

¹. *Ibid.*, p. 124.

². *Ibid.*, p. 183. Outre les inondations que les batards peuvent occasionner, ils sont susceptibles de causer l'éclatement de la conduite, ce qui s'est produit en 1885 sur un vieux collecteur qui longeait la Seine. Le piédroit étant tombé dans le fleuve, il entraîna dans sa chute plusieurs personnes qui s'étaient réfugiées sous le pont de l'Archevêché, dont deux n'en réchappèrent pas. *Ibid.*, p. 178.

³. *Ibid.*, p. 185.

⁴. H. MARIÉ-DAVY, *Epuration des eaux d'égouts par le sol de Gennevilliers*, [extrait du *Journal d'hygiène*, n° 202], Paris, 1880, pp. 11-12.

⁵. GUGLIELMINETTI, "Lutte contre l'usure et la poussière : l'historique du goudronnage des routes", in : *Premier congrès international de la route*, Paris, 1908, communication n°45, p. 1. Le *Premier congrès international de la route* comprend toute une section consacrée à la "lutte contre l'usure et la poussière". La quantité d'eau nécessaire à l'arrosage des rues varie avec le revêtement, comme le montre le tableau suivant, établi à partir des données parisiennes (en litre par mètre carré) :

.../...

contre la poussière. Le goudronnage des routes et des rues — qui couvre 21 000 m² à Paris en 1904 et 360 000 m² en 1907¹ —, expérimenté dès le milieu du XIXe siècle, apportera la solution définitive du problème. En effet, si médecins et opinion publique s'insurgent contre ces nuées de particules et de microbes que la terre donne à l'air², l'Etat et les collectivités locales sont eux aussi concernés en raison de l'augmentation des frais d'entretien des routes et des rues. L'automobilisme renouvelle les recherches sur le roulage. Si la vitesse augmente, l'analyse est somme toute peu différente de celle des ingénieurs du premier XIXe siècle³.

d) Les égouts

Malgré la mise au point de nouveaux profils pour les conduites enterrées, la canalisation souterraine de Paris ne se fait pas sans mal. Dans sa *statistique des égouts de Paris*, Emmerly rapporte de nombreux incidents et accidents survenus dans les années 1830 : dans les terres anthropiques, quand on ne rencontre pas de vestiges archéologiques comme dans les fouilles de la rue de Valois⁴, les fouilles sont infectes (rue du Temple⁵, Bièvre⁶) ; plus profondément, on est confronté aux sables fluides : faubourg Saint-Honoré, place de la Concorde⁷, rues Traversière-Saint-Antoine⁸, Saint-Georges⁹, Laffitte

	Printemps, automne	Eté
Voies empierrées	0,9	1,8
Pavages en bois	0,5	1,0
Pavages en pierre	0,4	0,8
Asphalte	0,3	0,6

D'après : E. BRET, "Nettoisement et arrosage des chaussées dans les grandes villes", in : *Deuxième congrès international de la route*, Paris, 1910, communication n° 33, p. 11.

Sous le Second Empire, les Champs Elysées reçoivent jusqu'à dix litres d'eau par mètre carré lors des grandes chaleurs. DARCEL, "Sur l'arrosage des routes et promenades publiques", *A.P.C.*, 1er sem. 1859, p. 321.

1. GUGLIELMINETTI, *loc. cit.*

2. Monet harcèlera la ville de Giverny jusqu'à ce qu'elle remédie au mal qui défigure son jardin.

3. Voir par exemple : MAHIEU, "Effets des nouveaux modes de locomotion sur les chaussées : dégradations dues à la vitesse", in : *Premier congrès international de la route*, *op. cit.*, communication n° 77.

4. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (...)", *op. cit.*, p. 318.

5. *Ibid.*, p. 309.

6. *Ibid.*, p. 311.

7. *Ibid.*, p. 322.

8. *Ibid.*, p. 308.

9. *Ibid.*, p. 310.

— où les fouilles sont de surcroît "infectées de gaz jusqu'à de très-grandes profondeurs"¹
—, un conducteur périt dans la construction de l'égout des boulevards extérieurs du nord², sans compter les pluies qui entravent la bonne marche des travaux.

La construction des égouts n'est pas plus aisée pour Belgrand que pour Emmerly et ses prédécesseurs. "A Paris, la présence de la nappe d'eau des puits dans les sables fluents est certainement le plus grand obstacle qu'on ait rencontré dans les travaux souterrains"³, souligne l'ingénieur d'Hausmann. En effet, ces sables qui avaient déjà inquiété Emmerly se rencontrent d'autant plus souvent que les nouveaux égouts sont plus profonds, comme le montre la figure 51 ; pour leur donner de la fermeté, il faut rabattre la nappe d'eau :

"La méthode ancienne qui se pratiquait encore partout en France à cette époque, consistait à circonscrire l'épuisement au point même où l'on travaillait et même à le suspendre la nuit, lorsqu'on pouvait mettre la fouille à sec en recommençant à épuiser quelques heures avant la reprise du travail. C'est ainsi que nos prédécesseurs opéraient dans les sables fluides de Paris.

"La méthode que j'ai substituée à cet ancien système est basée sur ce fait, que les sablons cessent d'être fluides dès qu'on abaisse la nappe souterraine au-dessous du niveau des travaux. Ils conservent alors une certaine humidité qui les rend beaucoup plus fermes que lorsqu'ils sont complètement secs, parce que, dans ce dernier cas, ils peuvent couler, lorsqu'ils sont purs, comme le sable d'un sablier. Mais il faut que l'abaissement soit permanent et, par conséquent, que l'épuisement soit continu. Il faut aussi que, vers les pompes, le niveau de la nappe d'eau soit notablement abaissé au-dessous du plan horizontal où l'on travaille ; s'il n'en était pas ainsi, on retrouverait l'eau à une faible distance, car les nappes souterraines prennent une pente assez forte quand on les épuise."⁴

Le procédé sera mis en œuvre de nombreuses fois, que l'égout soit construit en galerie (collecteur d'Asnières) ou en tranchée (collecteur des Coteaux) principalement sur la rive droite où la nappe d'eau est très proche de la surface.

¹. *Ibid.*, p. 321.

². *Ibid.*, p. 311.

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pp. 75-76. Belgrand, décédé en 1878, n'a pu achever ses *Travaux souterrains*. Les notes qui devaient servir à la rédaction de ce dernier volume ont d'abord été confiées à Edouard Couche, ingénieur des Ponts et Chaussées prématurément décédé, Humblot a repris le flambeau et permis la publication (*Ibid.*, pp. I-XIII).

⁴. *Ibid.*, pp. 77-78.

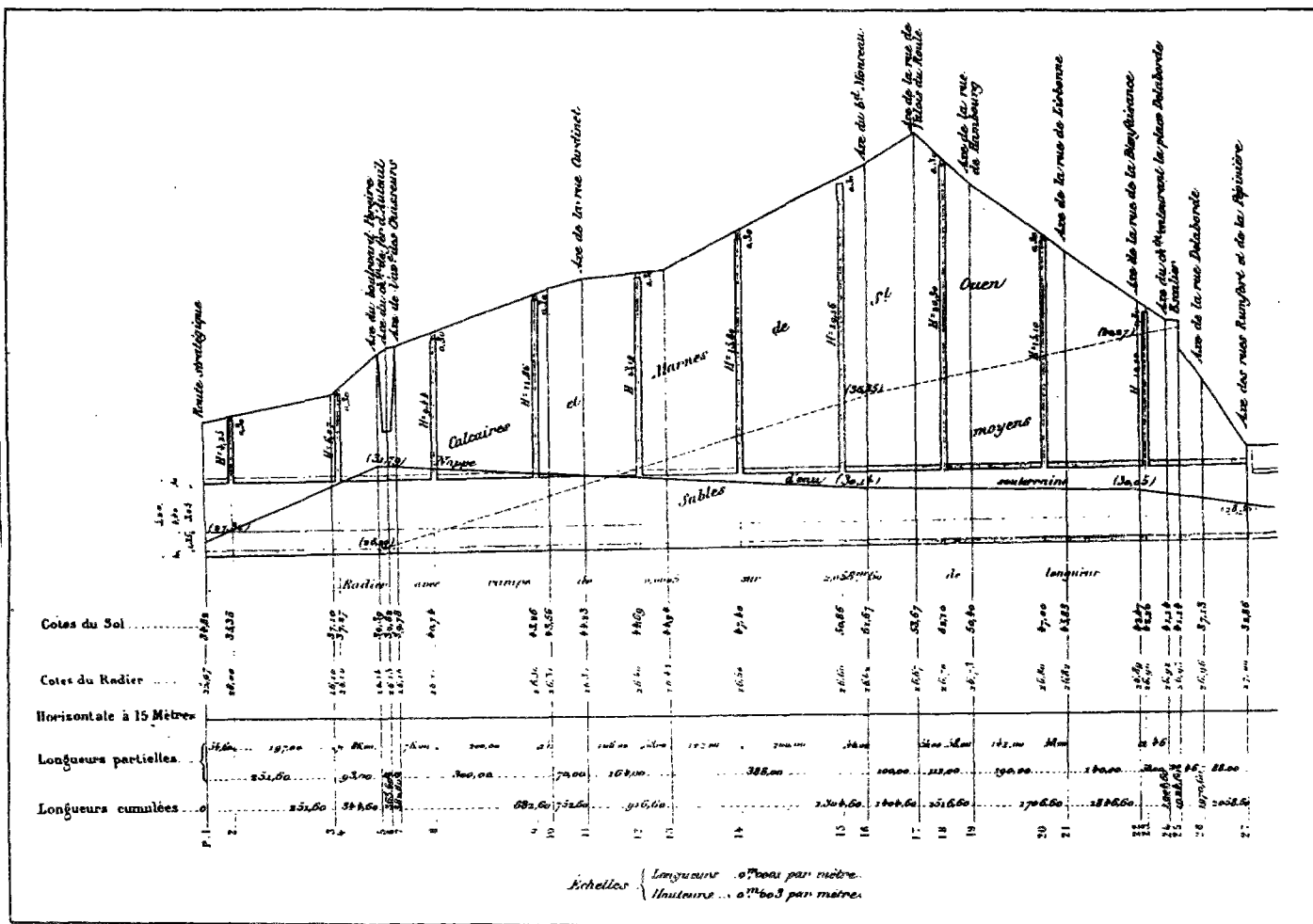


Figure 51. Collecteur d'Asnières - profil en long de la partie construite en souterrain.

Source : BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pl. h. t.

La figure 52 expose les détails d'exécution du collecteur des Coteaux, réalisé dans les années 1860. Ces rabattements de nappe ne sont pas sans conséquence : rue des Petites Ecuries, "le sol était si mauvais et si fluide que le dessèchement et le retrait qui résultèrent de l'épuisement produisirent des affaissements dans le sol des cours des maisons riveraines à plus de 10 mètres des travaux"¹, si bien qu'on dut étayer cinq maisons.

¹. *Ibid.*, p. 133.

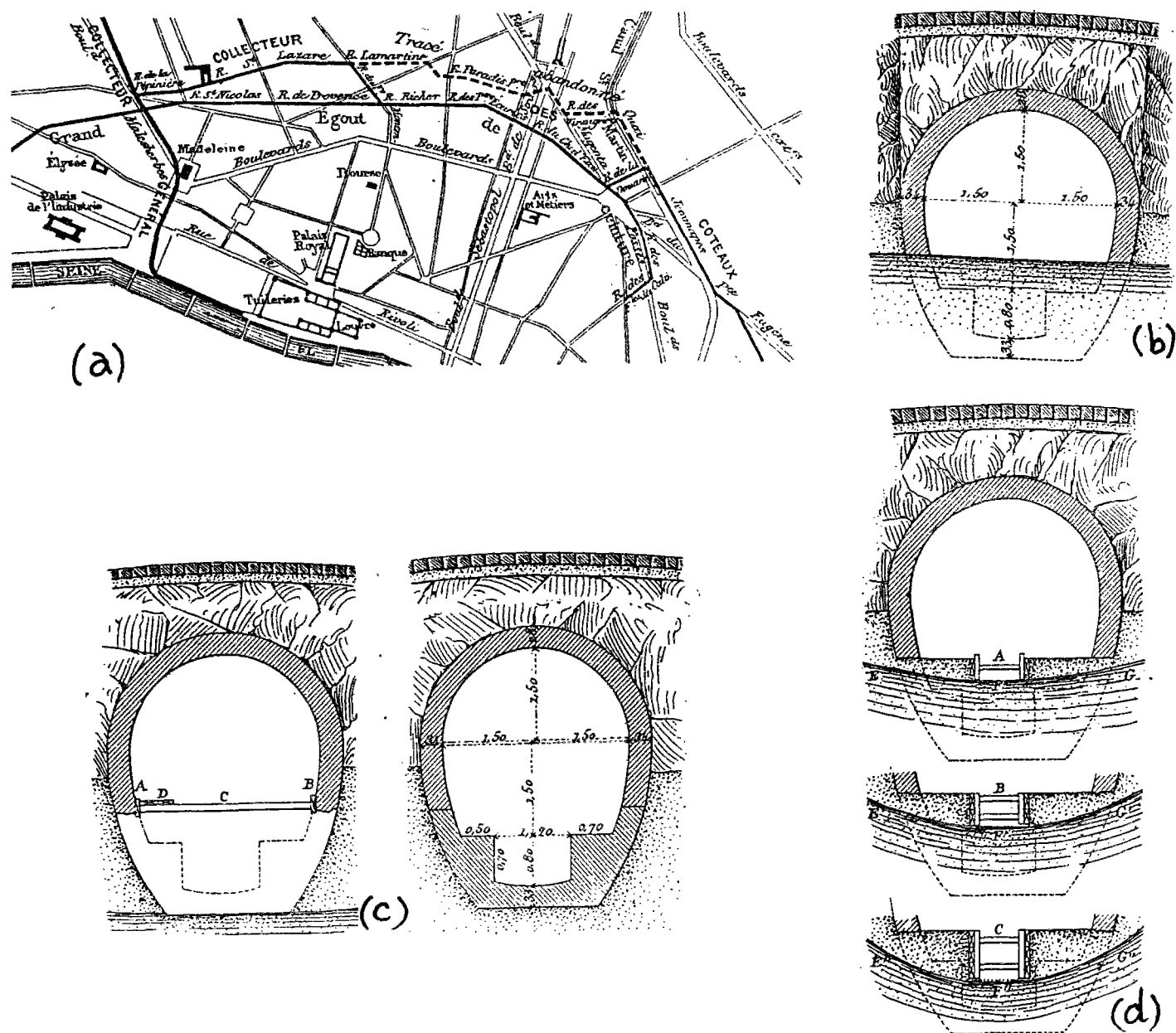


Figure 52. Exécution du collecteur des Coteaux, à Paris, dans les sables fluents.

Figure 55a. Plan de situation du collecteur, la hauteur d'eau dans la fouille avant épuisement pouvait varier de 0,9 à 3 mètres.

Figure 55b. Construction de la partie de l'égout située au-dessus de la nappe d'eau : "On ouvrait la tranchée en étrépillonnant, et on construisait les piédroits et la voûte." (p. 129)

Figure 55c. Epuisement de la nappe souterraine par pompes à vapeur, les puisards sont espacés d'une centaine de mètres. "Pour rendre l'assèchement complet, on a dû ouvrir au milieu de l'égout une petite tranchée pénétrant jusqu'en contrebas du radier." (p. 130) Par enfoncement successif des plats-bords A, B et C on abaisse la nappe en EG, E'G', E"G"F" respectivement.

Figure 55d. Reprise en sous-œuvre : "Les sables, si fluides lorsqu'ils étaient mélangés, devenaient, après l'assèchement, assez fermes pour qu'on pût faire le déblai en sous-œuvre par parties de 4 mètres de longueur, sans autre étalement que les deux cours de plats-bords A et B et les étrépillons C, espacés de 2 mètres en 2 mètres, servant à la fois à porter le chemin de service D et à empêcher le rapprochement des piédroits." (p. 130) On réalise ensuite maçonneries et banquettes.

Source : BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pp. 123, 128-131, fig. 28-29, 31-32.

On pourrait multiplier les exemples des difficultés rencontrées, Belgrand en donnant toujours une description minutieuse : en 1861, un fontis de 10 mètres de long sur 6 mètres de large s'ouvre dans la rue Geoffroy-Saint-Hilaire alors que l'on construit le collecteur de la Bièvre (qui rejoint le pont de l'Alma) : "La galerie fut remplie en un instant d'eau et de sable. La conduite de 0^m,30 d'eau d'Ourcq et celle de 0^m,25 de l'éclairage se rompirent également et augmentèrent le désordre. Un mineur engagé dans les décombres du fontis fut heureusement sauvé."¹ En 1865, le même collecteur atteint l'avenue Joséphine (avenue Marceau) et subit des surcharges qui n'avaient pas été prises en compte dans les calculs :

"Les égouts ne chargent pas le sol dans lequel on les construit et n'en changent pas les conditions d'équilibre ; ils peuvent donc être établis dans les plus mauvais terrains [...] sans subir d'avaries, à la seule condition que le sol ne soit pas chargé au-dessus. Pour la première partie du collecteur de Bièvre, entre le quai de la Conférence et la rue d'Angoulême prolongée, cette condition n'a pas été remplie. Le sol, composé d'argile plastique et par conséquent très compressible, a été chargé par les énormes remblais de l'avenue, qui y ont déterminé des mouvements considérables."²

Des lézardes de plusieurs centimètres de large sur quarante mètres de long s'ouvrent à la clef et aux naissances des voûtes. Il faut remettre l'égout sur cintres en attendant l'équilibre du sol, puis refermer les lézardes.

Enfin, on doit souvent construire les égouts sur d'anciennes carrières, non consolidées lorsqu'ils courent sous des voies nouvelles, et c'est souvent le cas. Les fondations (figure 53) sont alors très coûteuses : en 1869, boulevard Arago, les surbstructions des deux égouts latéraux ont coûté 150 000 francs pour une longueur d'à peine 300 mètres³, pour des conduites respectivement de 2,40 m sur 1,75 m et 2,30 m sur 1,30 m dont le mètre linéaire revient ordinairement à une centaine de francs.

De chercheur, l'ingénieur est devenu technicien : Belgrand ne connaît pas la formule de Dupuy, élaborée en 1863, qui lie le débit d'un puits au rabattement de la nappe⁴ et innove peu. La mécanique des sols n'est plus urbaine.

¹. *Ibid.*, p. 108.

². *Ibid.*, pp. 109-110.

³. *Ibid.*, p. 158.

⁴. $Q = k \frac{H^2 - h_0^2}{L}$ où Q est le débit à la sortie du puits; k la perméabilité du sol ; H la hauteur piézométrique initiale de la nappe ; h₀ la hauteur de l'eau dans le puits ; L le rayon d'action du rabattement (distance du centre du puits au front de la nappe).

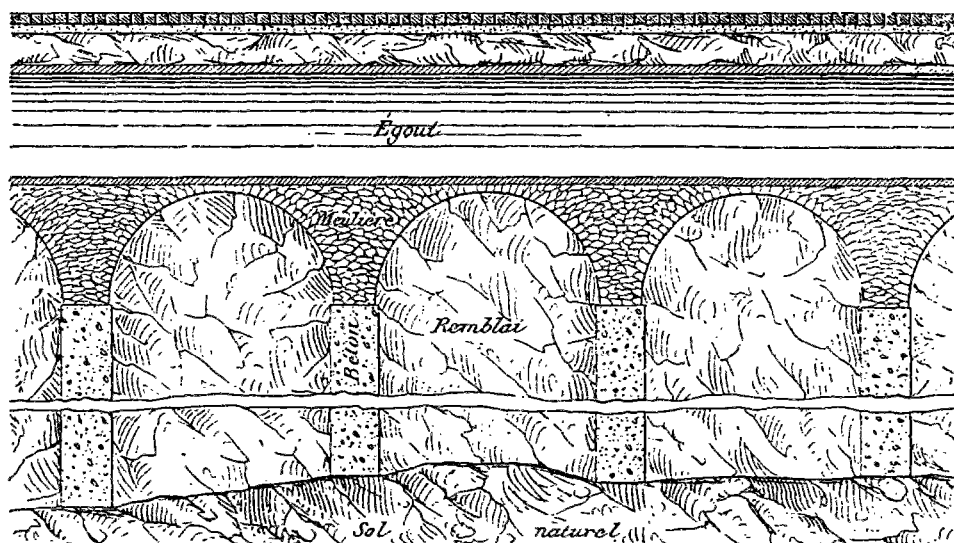


Figure 53. Construction d'égout sur remblai de carrière, avec substruction en arcades.

Les puits cylindriques sont espacés de 6 mètres et remplis de béton jusqu'à 3,5 mètres au-dessous du niveau de l'égout, puis on réalise les voûtes en plein cintre en meulière dont on arase l'extrados. Les piles de cette "sorte de viaduc enfoui" (p. 158) peuvent avoir 18 mètres de haut.

Source : BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts, les vidanges*, Paris, 1887, pp. 157-158, fig. 41.

e) L'encombrement du sous-sol

L'encombrement du sous-sol devient critique dès le Second Empire. En effet, la centralisation des données et la coordination des travaux préconisées par Emmery sont, semble-t-il, restées lettre morte.

Les travaux sont rendus difficiles par l'activité urbaine ; ainsi, du collecteur des Coteaux :

"Cette grande galerie [...] emprunte des rues dont la largeur varie de 7 à 13 mètres. Dans ces voies étroites, il fallait ouvrir des tranchées de plus de 4 mètres de largeur et de profondeur souvent très grande, maintenir la circulation sur les trottoirs, transporter les terres extraites des tranchées, approcher les matériaux de construction, et, au milieu de tous ces embarras, assurer le service de l'eau et du gaz."¹

¹. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 127.

Mais à l'eau, au gaz, aux égouts, s'ajoutent de nouvelles utilisations du sous-sol : dans le domaine privé, on prend la déplorable habitude, selon les termes de Belgrand, d'établir deux niveaux de caves sous les maisons : non étanches, elles se remplissent d'eau dès que la pluviométrie est élevée¹, dans le domaine public, ce sont de nouveaux réseaux. Si les conduites d'eau prennent naturellement place dans les égouts, les tuyaux de gaz sont trop dangereux pour les égoutiers et sont donc installés en pleine terre. Enfin, le télégraphe, d'abord aérien et soumis à de multiples vicissitudes, est placé en terre, dans une gaine en bitume :

"Mais on reconnut que le remède était pire que le mal.

"Tous les services qui fouillent ainsi la voie publique [...] étaient autant d'ennemis pour leurs nouveaux voisins. Chaque tranchée ouverte [...], malgré toutes les précautions prises, produisait d'inévitables tassements dans le sol qui supportait les câbles. De là des fissures dans l'enveloppe des fils, et la conséquence de chaque fissure était une interruption de service, ou du moins une déperdition d'électricité."²

De plus, le sol parisien, anthropique, bouge sans raison apparente, et la rupture d'un câble électrique ne se déclare pas comme celle d'une conduite de fluide. Le télégraphe rejoindra donc l'eau dans les égouts, lorsqu'on eut trouvé un revêtement susceptible de résister au gaz agressifs des égouts, en l'occurrence un tuyau de plomb³.

¹. *Ibid.*, p. 91.

². *Ibid.*, p. 207.

³. *Ibid.*, p. 208.

III.4.2. PUITTS D'ABSORPTION

Le Premier Empire et la Restauration marquent une phase de transition dans la gestion de l'effluent et en particulier des excréta. Ces quelques décennies sont nécessaires à un changement de perspective : l'excreta va devenir un déchet liquide.

Nous avons vu qu'à Paris tout au moins, la vidange se transforme en poudrette. Ce procédé fonctionne relativement bien et est même largement bénéficiaire jusqu'à la fin du XVIII^e siècle. Cependant, les plaintes sont toujours nombreuses en raison de l'insalubrité du voisinage de la voirie de Montfaucon ; c'est pourquoi, en 1797, Giraud propose son déplacement. De plus, cette même année, le privilège royal est supprimé et les voiries mises en adjudication. En effet, l'assainissement constitue alors une entreprise lucrative pour :

- les vidangeurs, qui vident les fosses ;
- les adjudicataires des voiries, qui vendent la poudrette ;
- la ville, qui loue la voirie à l'adjudicataire et perçoit une taxe sur les volumes qui y sont déposés¹.

Mais cette recherche d'une rentabilité économique est plus une survivance des pratiques de l'Ancien Régime qu'une nouveauté. Elle sombrera dans les égouts. Dès l'an XIII, le préfet de Seine invite par voie de presse les citoyens à lui soumettre des propositions de transformation de la voirie de Montfaucon². Parmi les projets reçus, celui de Turban consiste à jeter les immondices "dans quelques carrières profondes de Paris"³ ; L'accueil n'est pas très favorable :

"on a craint d'abord, si l'on trouvait une carrière convenable, de la voir s'emplier en quelques années ; ensuite que les matières enfermées ainsi sous la ville n'infectassent un grand nombre de puits, de caves, et ne donnassent lieu à des émanations putrides, pestilentiellles, qui, en se répandant

¹. Environ 1 franc par m³ tout au long du XIX^e siècle. Les adjudicataires qui proposaient des sommes supérieures (jusqu'à 6,40 francs par m³) ont eu très rapidement des difficultés financières insurmontables. Archives de la Seine, VO³437 et VO³452. Voir aussi : A. A. MILLE "Mémoire sur le service des vidanges publiques de la ville de Paris.", A.P.C., 1^{er} sem., 1854, pp. 145-153.

². GIRARD, "Du déplacement de la voirie de Montfaucon", A.H.P.M.L., t. 9, 1833, p. 64.

³. J. B. HUZARD, *De l'enlèvement des boues et des immondices de Paris, considéré sous le double rapport de la salubrité et de l'économie dans les dépenses*, Paris, 1826, p. 7.

par ces ouvertures et à travers les fissures du terrain, rendraient inhabitable une partie des lieux environnants."¹

Mais on évoque encore cette solution dans les années 1830².

En effet, le réseau économique de la poudrette connaît des dysfonctionnements dès le Premier Empire. La population de Paris, relativement stable depuis plus d'un siècle, se densifie : 180 habitants par hectare en 1789, 210 en 1818, 280 en 1841³. La dénonciation de l'infection des sols par les fosses non-étanches, conduit à prendre une nouvelle série de mesures : décret de 1809 qui ordonne l'établissement de fosses véritablement étanches et ordonnance de 1819 qui fixe leur mode de construction⁴, si bien que Girard, Pelletier et d'Arcet peuvent se féliciter en 1830 : "les fosses ont été rendues imperméables ; l'on n'a pas craint de suivre les opérations du vidangeur, d'étudier cette profession dans tous ses détails, et l'on est enfin parvenu à en régulariser et en assainir les procédés."⁵ La salubrité de l'air et du logement amène à envisager l'adoption des toilettes à l'anglaise⁶ qui ont préoccupé pendant l'Empire les grands architectes parisiens comme les ingénieurs des Ponts et Chaussées⁷ et qui entraînent, ainsi que l'hydrothérapie naissante, un accroissement de la demande en eau domestique qui sera partiellement satisfaite à la Restauration, avec l'alimentation en eau de la capitale par le canal de l'Ourcq : les classes aisées, aristocratie et bourgeoisie, incommodées par les odeurs importunes et soucieuses d'hygiène, s'équipent de water-closets et prennent des bains à domicile.

¹. *Ibid.*, p. 9.

². Notamment : GIRARD, "Du déplacement (...)", *op. cit.*, p. 78.

³. J. HILLAIRET, *Dictionnaire historique des rues de Paris*, 7e éd. [1ère éd. 1963], Paris : Ed. de Minuit, 1979, vol. 1, p. 36.

⁴. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, pp. 250, 252.

⁵. GIRARD, PELLETIER, D'ARCET, "De l'assainissement de la vidange des fosses d'aisances", *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, p. 359.

⁶. Elles ont en effet été introduites en France après avoir été adoptées en Angleterre, d'où leur appellation de *Toilettes à l'anglaise*. Nous avons pourtant vu que Pierre Patte les préconisait déjà (chap. I, § I.2.3).

⁷. Voir les Archives de l'E.N.P.C., notamment le fonds Mandar, où l'on trouve une vingtaine de dessins représentant divers moyens de faire couler l'eau dans la cuvette. On y note une magnifique tentative de Mandar de représenter une grande ferme avec sa cour commune comme une cuvette de water-closet : les bâtiments et les chemins d'accès correspondent à la chasse d'eau et aux tuyaux, la prairie devant la ferme à la cuvette.

Que faire alors des eaux usées par l'usage domestique ? Tout naturellement, ce sont les fosses d'aisances qui vont les accueillir ; "le soin de vider la baignoire inquiète fort peu l'homme malade ou sensuel qui fait venir un bain dans son appartement"¹, et jette l'eau sale dans les latrines, souligne un rapport du Conseil de Salubrité. De même, l'eau issue des toilettes à l'anglaise entraîne une dilution des excréments dans les fosses.

Ces circonstances nouvelles² vont conduire à une augmentation du volume des vidanges de la capitale, et, surtout, à une part beaucoup plus importante des liquides dans celles-ci ; certains grands hôtels parisiens, qui ne faisaient vidanger leurs fosses que tous les quatre ou cinq ans, doivent faire pratiquer cette opération incommode deux ou trois fois par an dans les années 1830³. Quant aux volumes totaux qui sont évacués des fosses parisiennes, ils passent de 51 m³ par jour en 1797 à 300 à 350 m³ par jour en 1835⁴, six fois plus.

Parallèlement, la construction des égouts va prendre son essor, nous l'avons vu (tableau 38). Mais à aucun moment, jusqu'en 1852, le raccordement des logements pour l'évacuation des eaux usées domestiques n'est envisagé, car les ingénieurs ne raisonnent pas en terme d'eaux usées mais de déchets solides. Lorsqu'en 1833, un anonyme envoie au Conseil de salubrité du département de la Seine un mémoire qui préconise le tout-à-l'égout, il est accueilli plutôt vertement par la commission chargée de l'examiner : "En résumé, la commission pense, que dans l'état actuel des choses, les projets de M. Q... ne peuvent être utilement appliqués à Paris ; qu'ils ne sont pas nouveaux ; [...] et que son travail ne peut être d'aucune utilité à l'administration."⁵ Si Labarraque, Chevallier et Parent-Duchâtelet, chargés d'examiner les dysfonctionnements du système vidange-voirie en 1835, concluent de leur première réunion "que l'embarras actuel de l'administration

¹. LABARRAQUE, CHEVALLIER, PARENT-DUCHÂTELET, "Rapport sur les améliorations à introduire dans les fosses d'aisances, leur mode de vidange et les voiries de la ville de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 14, 1835, p. 261.

². Il serait intéressant de connaître la part respective de chacune des causes évoquées, notamment en ce qui concerne l'étanchéité des fosses ; on est en effet en droit de se demander à partir de quand les mesures les concernant ont eu un réel effet sur la qualité de leur construction et si elles ont entraîné des opérations de "réhabilitation" des fosses existantes.

³. LABARRAQUE, CHEVALLIER, PARENT-DUCHÂTELET, *loc. cit.*

⁴. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 258. A comparer aux chiffres donnés par Bourgeois-Gavardin (*op. cit.*, vol. 1, p. 278) : 140 m³/j à la fin de l'Ancien Régime, et Boudriot ("Essai (...) : boues, immondices et gadoues (...)"), *op. cit.*, pp. 522-523) : 75 m³/j en 1775 selon la Compagnie ayant le privilège exclusif des vidanges, 100 m³/j selon Giraud, à la fin du XVIII^e siècle.

⁵. "Rapport fait au préfet de police sur une modification proposée dans le système des égouts de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, p. 226. La commission est composée de Rohault, d'Arcet aîné, Brissot-Thivard, Girard et Parent-Duchâtelet.

provenait du mélange des matières solides avec les matières liquides"¹, le système proprement dit n'est pas remis en cause avant le Second Empire, mais on va chercher à l'adapter aux nouveaux besoins. Aussi le déplacement de la voirie de Montfaucon est-il sérieusement envisagé dès 1805. C'est en 1812 qu'apparaît le nouvel emplacement de la voirie sur le plan parcellaire de la commune de Bondy (Seine)², où elle s'installe en 1818³ ; la voirie de Montfaucon n'est pas pour autant abandonnée et Bondy reçoit seulement une partie des vidanges de Paris, un tiers à un quart suivant les sources.

Pourtant, le site choisi s'avère très vite inapproprié. Le terrain se trouve sur une nappe d'eau située à un ou deux mètres de profondeur suivant la saison ; les bassins de la voirie une fois creusés sont en permanence inondés. Le dessèchement des matières solides est rendu quasiment impossible, tout comme leur extraction : "les chevaux attelés aux tombereaux chargés des matières les plus solides, cheminaient dans les matières liquides, qui leur montaient jusqu'au poitrail"⁴. Dans ces conditions, le doublement de la voirie de Montfaucon s'est traduit par un échec : non seulement il devenait impossible de se débarrasser des vidanges, du moins une fois qu'elles étaient à Bondy, mais aussi les adjudicataires de la voirie se trouvaient-ils devant l'impossibilité de commercialiser la poudrette : l'entreprise était en péril. Une première tentative fut faite de rejeter l'eau surabondante ; même après dilution avec l'eau de l'Ourcq, et de nuit, la chose ne passa pas inaperçue.

Cette augmentation du volume des vidanges s'ajoute à la nécessité d'assécher les marais, les carrières souvent noyées par les eaux phréatiques et de ruissellement, d'assainir les fabriques. Bref, il faut trouver un exutoire. Or, les premières années du XIXe siècle voient aussi un intérêt croissant pour les :

¹. LABARRAQUE, CHEVALLIER, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, pp. 258-259.

². J. MARGAT, "La voirie de Bondy", *En Aulnoye, jadis* (14), 1985, p. 58. La voirie de Bondy se trouve aujourd'hui dans le département de la Seine-Saint-Denis sur le territoire de la commune des Pavillons-sous-Bois. Elle borde le canal de l'Ourcq, ce qui permet d'acheminer les tonneaux de vidanges, embarqués au dépotoir de la Villette, par voie d'eau. Avec l'apparition des tinettes filtrantes, qui permettaient la séparation des matières solides des matières liquides, on établit une conduite (dite conduite d'envoi) qui longeait le canal et évacuait les liquides directement du dépotoir à la voirie, les matières solides seules étant toujours transportées par bateau. Cf. MILLE, *op. cit.*, pl. 59, 60 (plan et coupe du dépotoir de la Villette, plan général mentionnant le dépotoir, la voirie, le canal de l'Ourcq, les conduites d'envoi et de retour).

³. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 260.

⁴. GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, "Des puits forés ou artésiens employés à l'évacuation des eaux sales et infectes et à l'assainissement de quelques fabriques", *A.H.P.M.L.*, t. 10, 1833, p. 331.

"Puits forés, connus sous le nom de puits artésiens, de fontaines artésiennes ou de fontaines jaillissantes [...]. En forant verticalement le sol, dans certaines localités, jusqu'à des profondeurs suffisantes, on atteint des nappes d'eau souterraines qui remontent à la surface le long du canal que la sonde leur a ouvert ; ces eaux forment souvent des jets abondants et élevés."¹

La technique n'est pas nouvelle², mais c'est au XIX^e siècle que les puits artésiens connaîtront en France un essor remarquable, du fait des besoins en eau toujours plus grands. Ainsi la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, dès 1818, et la Société Royale et Centrale d'Agriculture, à partir de 1828, favoriseront-elles leur développement par l'intermédiaire de plusieurs concours :

"Sans remonter aux causes premières de l'existence des eaux souterraines et de la discontinuité des réservoirs qui renferment ces eaux ; sans examiner les forces qui font jaillir ces eaux à la surface du sol, la Société a pensé que le succès qui a couronné plusieurs tentatives, faites récemment dans les départements de la Seine, de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne, était un motif suffisant pour provoquer, par un concours général, de nouvelles recherches."³

Le forage mouvementé du puits de Grenelle, réalisé par le sondeur Mulot avec l'appui de François Arago, qui demanda plus de sept années de travaux (de 1833 à 1841) pour enfin découvrir l'eau des sables verts à 548 mètres de profondeur, ne contribua pas peu à la publicité des puits artésiens⁴.

Puisque les puisards sont condamnés, puisque la sonde artésienne permet d'accéder aux nappes profondes, pourquoi ne pas y envoyer ces eaux usées dont on ne sait que

¹. F. ARAGO, "Sur les puits forés, connus sous le nom de puits artésiens, de fontaines artésiennes, ou de fontaines jaillissantes", in : *A.B.L. pour l'an 1835*, Paris, 1834, pp. 181-182.

². Elle est, comme son nom l'indique, issue de l'Artois où elle apparaît au XII^e siècle. Voir : LE GEULE, "Observations nouvelles sur quelques puits et quelques sources extraordinaires, et sur quelques rivières souterraines", *Journal de Trévoux*, mars 1703, pp. 489-496 ; et, du même auteur, "Description d'une manière nouvelle de trouver des fontaines", *Journal de Trévoux*, avr. 1703, pp. 647-648.

³. HERICART de THURY, *Programme d'un concours pour le percement de puits forés suivant la méthode artésienne* (...), Paris, 1828, p. 5.

⁴. "Arago [...] vit augmenter sa popularité ; Mulot, dont le nom fut porté aux nues, devint pour ses contemporains le Christophe Colomb des puits artésiens ; il avait dépensé 40.000 francs de plus qu'il ne devait toucher pour prix forfaitaire du travail [260.000 F], la Ville lui remboursa toutes ses dépenses, le dota de 3.000 francs de rentes et donna une indemnité importante à son fils qui avait été le collaborateur dévoué de l'œuvre ; enfin, Louis-Philippe le décora de la Légion d'honneur." GERARDS, *op. cit.*, p. 170.

faire ? Ainsi apparaissent les "fontaines artésiennes négatives"¹, "trous par lesquels se jettent dans les entrailles de la terre des nappes d'eau qui, faute de ce moyen d'écoulement, séjourneraient en surface"². En effet, si le sous-sol est capable de fournir de l'eau, il doit pouvoir en absorber dans certaines de ses couches ; l'exemple le plus caractéristique nous en est donné par la fontaine de la ville de Saint-Denis qui unit les deux principes : alimentation en eau et rejet du trop-plein dans le sous-sol, nous y reviendrons. Car la théorie des puits forés est, dans son principe, relativement simple comme on peut le voir sur la figure 54.

En réalité, ce procédé semble utilisé depuis longtemps pour l'assèchement des terrains marécageux en Allemagne, en Italie et en Angleterre ; pourtant il ne s'est répandu en France qu'au début du XIXe siècle³, dans la foulée des puits jaillissants. En effet, Huerne de Pommeuse fait connaître le procédé en 1826 :

"Les terrains creux ou sans pente dont le sol est de nature à conserver les eaux, peuvent éprouver de la stagnation des préjudices importants et redoutables [...]. Si on reconnaît que les couches imperméables du sous-sol peuvent être traversées jusqu'à ce qu'on arrive à une couche inférieure dont la perméabilité permet de donner l'issue que l'on veut obtenir, il faut pratiquer des forages que l'expérience a rendus faciles ; et si le terrain présente une certaine étendue, on doit recourir à de bons nivellements pour reconnaître l'inclinaison des couches afin de se régler sur ces inclinaisons."⁴

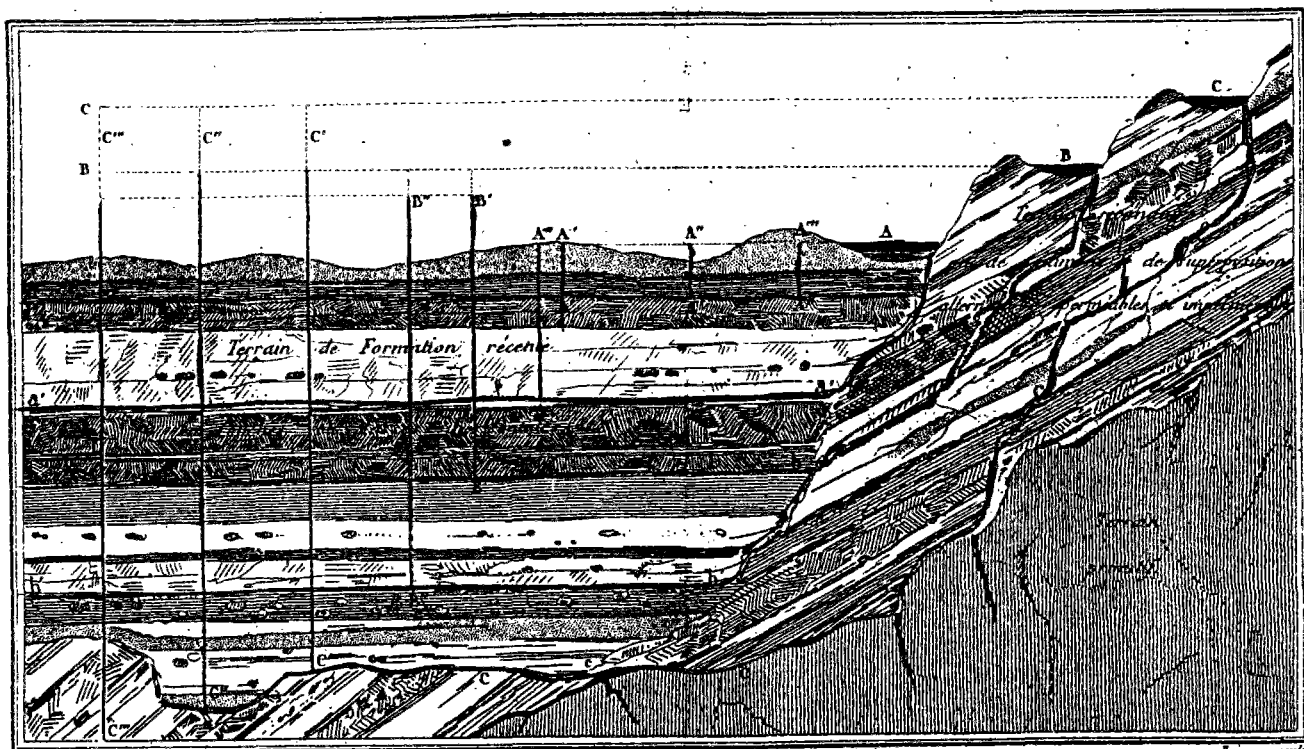
L'apparition des puits absorbants semble donc doublement liée à celle des puits artésiens : ces derniers, alimentant en partie les villes en eau, créent un besoin d'évacuation ; mais aussi ils suggèrent d'utiliser le même principe pour mener à bien cette évacuation.

¹. ARAGO, *op. cit.*, p. 243.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. Cependant, Arago (*op. cit.*, p. 244) cite le cas de la plaine des Paluns, près de Marseille, asséchée à l'aide de puisards sous le règne du roi René.

⁴. L. F. HUERNE de POMMEUSE, *Observations générales sur les causes de l'existence des marais et les moyens de les assainir*, s. l. n. d., p. 3.



Légende :

- A, B, C : bassins ou zones perméables qui reçoivent les eaux pluviales ;
- celles-ci s'infiltrent dans le sol et rejoignent les nappes d'eau aa, a'a', bb, b'b', cc qui se forment dans les terrains perméables (sables, graviers, etc.) situés (dans ce cas) entre deux couches imperméables (argiles, etc.) ;
- ces nappes peuvent avoir des exutoires naturels, mais on peut aussi leur en imposer un en perçant des puits qui les rejoignent (A', A'', A''', B', B'', C', C'', C''' au tubage supposé isolant, c'est-à-dire que les puits A', A'', A''' puisent dans la nappe aa, le puits A''' puise dans la nappe a'a', B' dans bb, B'' dans b'b', C', C'', C''' dans cc), comme elles sont en charge, l'eau montera à l'altitude du point d'alimentation de la nappe ; l'eau est jaillissante lorsque le sol est à un niveau inférieur (cas des puits A', B', B'', C', C'') ; l'eau est absente lorsque, par suite du pendage des couches, la nappe est interrompue (couche cc, puits C''').
- De la même façon que l'on peut donner à la nappe un exutoire artificiel, on peut, par le percement d'un puits, l'alimenter tout aussi artificiellement. Il suffit pour cela de donner à l'eau à injecter une pression supérieure à la pression de l'eau de la nappe : les puits A', A'' et A''' pourraient remplir cet office ; dans le cas du puits A''', une injection gravitaire suffirait puisque la cote du sol est supérieure à la cote d'alimentation de la nappe (bassin A) : c'est le principe utilisé dans la mise en œuvre des puits artésiens d'absorption (et, de nos jours, pour la réalimentation des nappes ou les puits d'injection).

Il est évident que ce rapide aperçu des principes des puits artésiens, aussi bien positifs que négatifs, est une simplification des phénomènes réellement observés : ce raisonnement purement statique, basé sur le principe des vases communicants, néglige les caractéristiques dynamiques des nappes souterraines, la présence de points d'alimentation multiples et d'exutoires naturels, ainsi que la complexité des structures de nappes. On est en effet bien souvent en présence d'aquifères multicouches (des zones perméables dans les couches de séparation des différentes nappes permettent une communication entre celles-ci). Mais tous ces mécanismes sont encore aujourd'hui mal connus (en particulier le comportement à long terme des nappes souterraines).

Figure 54. Théorie des puits artésiens.

Source : HERICART de THURY, *Programme d'un concours pour le percement de puits forés suivant la méthode artésienne (...)*, Paris, 1828, pl. I.

Le sondeur Mulot semble être à l'origine de l'emploi et de la diffusion de cette technologie. Il réalise probablement la première fontaine artésienne négative en France à Saint-Denis, en 1829¹. En effet, une première fontaine artésienne classique y avait été réalisée par les frères Flachet², fontaine qui fournissait à cette ville une eau abondante. Mais le trop-plein s'en déversait sur la chaussée, gelait l'hiver, occasionnant les accidents que l'on imagine. La ville voulant établir une nouvelle fontaine sur la place aux Gueldres, le sondeur Mulot, qui avait déjà obtenu en 1828 des médailles d'or de la Société d'Agriculture et de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale³, lui proposa d'associer le dispositif de la fontaine positive à celui de la fontaine négative :

"De l'eau d'excellente qualité provenant d'une couche située à 65 mètres de profondeur, monte dans un tube métallique d'un certain diamètre. Un tube *notablement plus grand*, enveloppe le premier et va se saisir, à 55 mètres de profondeur, d'une nappe d'eau encore très-potable, mais moins bonne cependant que la première. C'est, exclusivement, dans l'espace annulaire compris entre ces deux tubes, que l'eau de la nappe située à 55 mètres peut remonter. Un troisième tube, enfin, *notablement plus grand* que le second, descend, en l'enveloppant, jusqu'à la profondeur d'une couche absorbante. L'espace annulaire compris entre le tube moyen et le tube extérieur ne donne donc rien : il sert, au contraire, *en hiver*, à ramener au sein de la terre la partie non employée des eaux des deux couches ascendantes."⁴

On se souvient de la féculerie accusée de corrompre le ru d'Enghien à Villetaneuse (§ III.1.3). Si Orfila et Parent-Duchâtelet avaient conclu au peu d'effet de cette corruption, les plaintes n'en cessèrent pas moins. Le féculier eut donc recours à des puisards qui contaminèrent inmanquablement les puits d'alimentation des environs⁵. Mulot fut appelé à la rescousse pour trouver une issue aux 80 m³ d'eau quotidiennement usés par la féculerie. La sonde fut enfoncée à 64 mètres, "dans le calcaire chlorité, en restant un peu au-dessus de l'endroit correspondant à la nappe la plus profonde du puits

¹. Comparativement à l'abondante littérature consacrée aux puits artésiens "classiques" (on pourra consulter la bibliographie donnée par Héricart de Thury (*op. cit.*, pp. 61-63) qui comprend déjà, en 1828, 24 références), celle qui concerne les fontaines négatives est pauvre. De nombreuses imprécisions demeurent à leur sujet.

². GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 321.

³. L. FIGUIER. "Nécrologie scientifique : Georges Mulot", in : *L'année scientifique*, Paris, 1873, p. 550.

⁴. ARAGO, *op. cit.*, pp. 246-247.

⁵. GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, pp. 325-326.

de la place de Saint Denis"¹. Le puits est isolé des autres nappes rencontrées par des tuyaux de fonte ; au cours de l'hiver 1832-1833, il perd toutes les eaux usées de la fabrique.

Enfin, nous avons évoqué la voirie de Bondy, noyée dans les eaux-vannes, et c'est là que sera foré le puits absorbant qui restera probablement le plus important de tous (exception faite des puits d'injection utilisés à l'heure actuelle). En effet, nous avons dit qu'une tentative fut faite de rejeter les eaux surabondantes dans les rus voisins : ce fut un échec, ces liquides étaient par trop insalubres pour passer inaperçus aux yeux des riverains de la voirie et, partant, des pouvoirs publics. Une nouvelle fois, c'est à Mulot que l'on fait appel pour résoudre le problème et un projet est mis sur pied dès la fin de l'année 1832 qui comprend le percement de dix puits répartis sur les bords de la voirie, projet ambitieux ; il semble que seul l'un d'entre eux ait été foré.

L'importance de l'entreprise mérite qu'on lui accorde une attention particulière, d'autant plus que c'est l'expérience de Bondy qui amènera la notoriété des puits absorbants. Selon Girard et Parent-Duchâtelet, deux couches absorbantes ont été rencontrées lors du forage: "l'une depuis 40,93 jusqu'à 47,66 mètres dans les calcaires siliceux, et l'autre depuis 65,31 jusqu'à 74,71 mètres, dans les sables argileux, les sables verts et gris renfermant des lignites et des débris de coquille pulvérisée"². La première avait une capacité d'absorption trop faible pour satisfaire les besoins des adjudicataires qui réclamaient une capacité d'au moins 100 m³ par jour ; c'est pourquoi le forage fut poursuivi.

Mais plus intéressant encore est l'argumentaire développé pour justifier l'utilisation des puis d'absorption.

A Saint-Denis, les eaux injectées dans le sous-sol étaient pures, et l'on ne pouvait que saluer l'astuce de Mulot.

L'administration avait approuvé, et était même plus ou moins à l'origine, du puits de Villetaneuse. En effet, le conseil de salubrité nomma trois commissions pour se prononcer sur l'évacuation des eaux de la féculerie. Leurs conclusions avaient été les suivantes :

¹. *Ibid.*, p. 329.

². *Ibid.*, p. 335.

"il y avait lieu de la part de l'administration à prescrire au propriétaire de la féculerie de ne plus écouler les eaux de sa fabrique dans le ruisseau venant d'Enghien, soit en lui donnant un écoulement différent, *soit en les perdant dans un courant d'eau souterrain au moyen de puits ou trous faits avec la sonde du fontainier sondeur*, soit par tout autre moyen qu'il jugerait convenable."¹

En revanche, à Bondy, probablement en raison de la nature et du volume des eaux concernées tout comme du statut de la voirie², le Préfet de Police intervient dès la mise en service du puits : le 2 avril 1833, l'arrêt des écoulements est ordonné et une commission nommée ; celle-ci est chargée de se prononcer sur la possibilité d'injecter des eaux sales dans le sol. C'est l'occasion de faire un bilan de la ressource souterraine parisienne. Les experts distinguent nettement les nappes phréatiques des nappes inférieures. Les nappes phréatiques, dont la première ne se rencontre que dans les collines avoisinant Paris, alors que la seconde est présente dans toute la ville et "alimente tous les puits de Paris, dont le nombre va peut-être à vingt-cinq ou trente mille"³, sont dues à "l'infiltration des pluies et à la condensation des vapeurs à la surface du sol des plateaux qui la supportent"⁴. Quant aux nappes inférieures : "leur nombre et la profondeur à laquelle on les rencontre varient singulièrement ; *elles manquent quelquefois complètement*, elles ne sont pas toujours ascendantes [...] tout semble faire croire qu'elles viennent de fort loin, et qu'elles ont un véritable courant ; mais dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut rien établir de positif à cet égard."⁵

Les nappes phréatiques sont presque immobiles⁶, ce que prouve la permanence de la corruption qui montre qu'il n'y a pas dilution par le mouvement et le très faible rayon d'altération au voisinage des fosses d'aisances (cinq à six mètres) et des voiries de Montreuil et des Fourneaux : "à notre grande surprise, nous n'avons jamais reconnu cette altération de l'eau au-delà d'un rayon de cent cinquante à deux cents mètres."⁷ Mais il

¹. *Ibid.*, p. 327.

². Rappelons que la voirie était une propriété de la ville qui la louait à l'adjudicataire, tout en gardant un droit de regard sur ses activités comme en témoigne la présence d'un contrôleur sur les lieux. Les rapports hebdomadaires pour la période 1824-1835 (voiries de Bondy et de Montfaucon) ont été conservés (Archives de la Seine, VO³465).

³. GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 336.

⁴. *Ibid.*, p. 337.

⁵. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁶. "à mesure que l'industrie s'augmentera dans Paris, ce mouvement de la nappe nourricière, dans les puits, prendra plus de force", remarquent les rapporteurs avec une étonnante prescience. *Ibid.*, p. 346.

⁷. *Ibid.*, p. 342.

n'en va pas de même des nappes captives : "que pourront faire ces eaux infectes sur le nappes tout-à-fait inférieures, que les géologues comparent à des torrens, et qui sans cesse agitées et renouvelées, ont peut-être plus d'action que les eaux dont nous parlons, que n'en a la Seine lorsqu'elle coule à plein bords, sur celles des égouts qui y tombent."¹ On retrouve dans le sous-sol la même distinction qu'à la surface : le mouvement — ici accompagné de pression — est incompatible avec l'insalubrité, les eaux de la Seine sont parfaites.

La craie fissurée pourrait constituer le réceptacle idéal, puisque cette couche est "capable d'absorber tout ce qu'on lui envoie, et dont l'épaisseur est telle, qu'elle n'a pas encore pu être entièrement perforée"².

On peut donc même installer ces puits absorbants à proximité des puits artésiens : "on peut envoyer sans crainte dans le sol les matières les plus infectes, car il est physiquement impossible qu'elles puissent être reçues et mélangées dans une eau soumise à une pression qui la fait monter au dessus de la surface du sol."³

Leur conclusion est claire : "l'on peut sans danger et en toute sécurité permettre aux adjudicataires de la voirie de Bondy d'employer à son dessèchement le puits qu'ils ont fait forer sur une de ses rives."⁴ Le puits de Bondy est aussitôt réouvert et probablement utilisé jusqu'en 1842⁵ ; en effet, il constituait alors le seul moyen pour les adjudicataires de se débarrasser des eaux surabondantes. Par la suite, le cahier des charges de l'adjudication de la voirie de Bondy stipule : "Ecoulement des eaux-vannes : l'adjudicataire aura la faculté de se servir de la conduite et de la rigole que la ville fait établir sous la berge du canal de l'Ourcq"⁶, mais précise que celles-ci ne sont pas encore

¹. *Ibid.*, pp. 351-352.

². *Ibid.*, p. 354.

³. *Ibid.*, p. 358.

⁴. *Ibid.*, p. 360.

⁵. De façon continue ou bien par intermittence, comme le laisse entendre le contrôleur de la voirie. Archives de la Seine, VO³465.

⁶. PREFECTURE du DEPARTEMENT de LA SEINE, *Cahier des charges, clauses et conditions de l'adjudication des matières qui seront portées à la voirie de Bondy, depuis le 1er janvier 1843 jusqu'au 31 décembre 1850*, Paris, s.d., article 13.

Le cahier des charges précédent stipulait quant à lui : "le fermier sera tenu de se débarrasser des urines à ses frais, risques et périls, par tous les moyens qu'il jugera convenable autre que par le versement dans le ruisseau du Raincy, ce qui est formellement interdit ; tout dommage résultant des dites urines demeurant à la charge du fermier sans que la ville de Paris puisse être aucunement recherchée ni inquiétée pour raison de ces dommages." *Cahier des charges, clauses et conditions de l'adjudication des matières qui seront portées à la voirie de Bondy, depuis le 1er janvier 1831 jusqu'au 31 décembre 1842*, article 24. Archives de la Seine, série DQ10, carton 1614, n°483.

en état d'utilisation au 1er janvier 1843, ce qui laisse une incertitude quant à la date de fermeture du puits, qui pourrait avoir été utilisé en 1853, comme en témoigne une coupe de sondage du Bureau des Recherches Géologiques et Minières¹. Enfin, un projet de cahier des charges daté de 1894 stipule : "Les eaux rejetées dans les cours d'eau voisins ou dans les nappes souterraines [c'est nous qui soulignons] ne devront contenir aucune matière toxique ou nuisible."² Quoi qu'il en soit, si l'on table sur une utilisation de 1833 à 1842 inclus, et sur une injection de tous les liquides surabondants dans le puits, on peut évaluer à 234 000 m³ le volume d'eaux usées inoculées³.

Ainsi se met en place la séparation très nette entre le sol et le sous-sol ; pour ne pas corrompre le premier, on utilise le second, comme le montre J. Girardin au sujet des abattoirs de Rouen : "Toutes les semaines, il y a mille muids de ces eaux sales à perdre. Dans l'origine, on avait cherché à la faire absorber par le sol, et on avait creusé d'immenses trous remplis de pierres calcaires, qu'il a fallu bientôt combler vu leur inutilité et l'odeur infecte qui s'exhalait de ces fosses ouvertes."⁴ Comme à Bondy, le rejet en rivière soulève de nombreuses plaintes, même lorsqu'il est effectué nuitamment. "La ville s'entendit avec M. Mulot qui, après bien du temps et des peines, est parvenu à rencontrer, à la profondeur de 570 pieds environ, une nappe d'eau d'une certaine importance, non jaillissante, et dans laquelle on fait écouler toutes les eaux rouges et sales

¹. En effet, le B. R. G. M. répertorie tous les sondages effectués sur le territoire national, mais non celui de Bondy, bien que certains d'entre eux soient très anciens. Nous y avons néanmoins trouvé un tirage de microfiche de mauvaise qualité sans numéro de référence ni indication de provenance. On peut lire le titre : "Forage exécuté aux p..... à Bondy (Seine)"; le mot commençant par un «p» pourrait être «poudrettes» (la voirie de Bondy était parfois appelée, par extension, *la (ou les) poudrette(s)* ; nom qui est toujours porté par l'ancien site de la voirie) bien qu'il ne soit pas entièrement lisible. Sous le titre, une première coupe géologique, jusqu'à une profondeur de 123 mètres (123,...), est suivie d'une deuxième coupe, d'une écriture différente, décrivant le sous-sol jusqu'à une profondeur de 73,7. mètres. De la même écriture, il est indiqué "Les 1er et 9 1853, on a pu faire absorber par ce forage 120 000 litres d'urine en 24 heures." Nous ne pouvons affirmer qu'il s'agit bien du puits de la voirie de Bondy, mais la probabilité est forte.

². *Projet de cahier des charges* du 01/07/1894, article 6. Archives de la Seine, VO³466.

³. En effet, le volume des vidanges apportées à Bondy pour cette période est de 260 000 m³ (Archives de la Seine, VO³466), et, d'après Labarraque, Chevallier et Parent-Duchâtelet (*op. cit.*, p. 261), les vidanges contiennent 90 % de liquides.

⁴. J. GIRARDIN, "Sur l'écoulement des eaux fournies par les abattoirs de la ville de Rouen ; lettre à M. Chevallier", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, p. 85.

des abattoirs. [...] aussi ne sort-il plus une seule goutte d'eau à l'extérieur des abattoirs"¹, ni aucune odeur.

C'est que l'intérêt suscité par les puits d'absorption est grand, grâce au succès des expériences de Saint-Denis, Villetaneuse, Bondy et de celles, plus ou moins secrètes, réalisées par Degousée dans plusieurs manufactures parisiennes². Les édiles sont séduits par la simplicité de l'évacuation des eaux par les puits absorbants : "Le projet d'employer les puits forés à l'assainissement des localités, avait déjà été présenté au conseil de salubrité par un de ses membres, M. Pelletier, particulièrement chaque fois qu'il s'était agi de l'assainissement du village de Clichy-la-Garenne que les blanchisseuses avaient converti en un véritable cloaque"³ ; les puits absorbants connaissent plusieurs applications dans le domaine public, comme à Bicêtre, en 1835, à la demande de "l'administration supérieure des hospices de Paris, pour l'écoulement tant des eaux ménagères que des urines de la maison de Bicêtre."⁴ La capacité d'absorption du puits y était de 100 m³/j. L'administration est d'autant plus encline à adopter cette technique que les scientifiques lui donnent leur caution : Girard et Parent-Duchâtelet, experts pour l'examen du cas de Bondy, mais aussi Héricart de Thury et Emmery, qui écrit :

"Ce mode de perte d'eau est en effet appelé à prendre chez nous un rôle important pour l'assainissement de la ville de Paris, bien moins encore comme *écoulemens publics, en remplacement d'égouts trop dispendieux*, application cependant d'un véritable intérêt, que comme moyen de *supprimer Montfaucon*, et de faire disparaître l'écoulement honteux, et immémorial cependant, de toutes les eaux-vannes de ces réservoirs infects, *dans la Seine, en amont de Paris*.

"Les ingénieurs qui s'occuperont de *dessèchemens* auront de leur côté désormais à peser, et la certitude de rencontrer partout, à *peu de frais*, des nappes artésiennes d'absorption, et la possibilité de trouver dans ces nappes [...] des moyens d'épuisemens d'une puissance tout-à-fait remarquable".⁵

Le médecin Piorry les recommande pour l'assèchement des marais proches des habitations⁶ ; on évoque les puits absorbants jusque dans les revues populaires. Ainsi, on

¹. *Ibid.*, pp. 85-86.

². GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 328.

³. *Ibid.*, pp. 327-328.

⁴. EMMERY, *Puits artésiens d'absorption : forage ordonné par la ville de Paris et exécuté par le Sr Mulot, sur les boulevards extérieurs près la barrière du Combat. Expérience sur la puissance d'absorption de ce puits*, [extrait des A.P.C., 2e sem. 1835] Paris, 1836, p. 3.

⁵. *Ibid.*, p. 4.

⁶. PIORRY, *op. cit.*, p. 27.

trouve, dans *Magasin pittoresque*, un article qui leur est consacré et dont voici le passage le plus dithyrambique :

"Ce genre d'ouvrages est destiné à prendre chez nous un immense développement. Il doit servir à faire disparaître complètement la voirie de Montfaucon, dont le hideux voisinage est si révoltant pour une des plus belles villes du monde ; on lui devra la suppression désirée de l'écoulement honteux des eaux-vannes qui proviennent de ces réservoirs infects dans la Seine, en amont de Paris. Des marais immenses qui enlèvent des terrains précieux à l'agriculture, et en dehors desquels les eaux ne pouvaient trouver aucun écoulement, seront desséchés¹. En un mot, les puits artésiens absorbants offrent à l'industrie une de ces ressources précieuses que la Providence a préparées pour l'homme, et qu'il rencontre au moment même où il semble arrêté dans l'essor de son développement par un obstacle majeur."²

Et Emmery convainc la ville de Paris elle-même d'investir dans les puits absorbants :

"Sur notre [c'est H. C. Emmery qui écrit] proposition, l'administration municipale de Paris avait ordonné, à titre d'essai, et comme application nouvelle des puits absorbants à des écoulements publics, le forage de trois puits artésiens, l'un près la barrière de Saint Mandé, un autre près de la barrière du Combat, et le dernier près de la barrière de la Cunette"³.

Ils sont connectés aux égouts en 1836, les branchements étant "munis chacun d'appareils ou puisards dépuratoires nécessaires au dépôt des boues et immondices"⁴.

C'est à partir de l'analyse du comportement du puits de la barrière du Combat qu'Emmery définit sa conception de l'utilisation des puits absorbants ; il y mène en effet des observations beaucoup plus minutieuses qu'il ne le fit à Bondy⁵.

¹. L'auteur a probablement lu Emmery !

². "Puits artésiens absorbants", *Magasin pittoresque*, 1839, p. 240.

³. EMMERY, *Puits artésiens d'absorption (...)*, loc. cit.

⁴. EMMERY, "Statistique des égouts de la ville de Paris (...)", *op. cit.*, p. 325.

⁵. EMMERY, "Assainissement ou écoulement des eaux pluviales et ménagères par voie d'absorption, au moyen de sondes artésiennes.", *A.P.C.*, 1er sem., 1835, pp. 126-128.

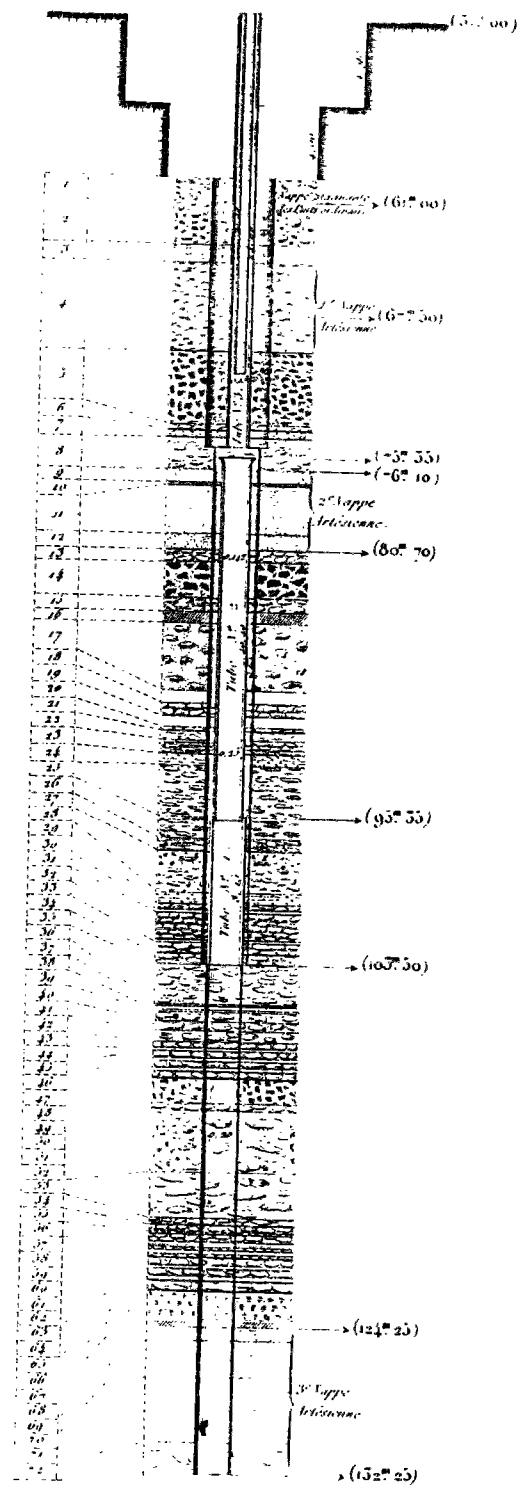


Figure 55. Coupe du puits absorbant de la barrière du Combat.

Source : H. C. EMMERY, "Puits artésiens d'absorption (...)", A.P.C., 2e sem. 1835, pl. CVI.

On trouve dans les *Annales des Ponts et chaussées* le compte-rendu détaillé de ses expériences, compte-rendu d'autant plus intéressant qu'il y décrit en détail les caractéristiques du puits : profondeur (81,25 m), coupe géologique (figure 55), nature du tubage ; ainsi que les conditions précises de l'expérience. Il en conclura "Qu'il est tel puits artésien qui peut absorber au delà de *cent mètres cubes liquides par heure*."¹

Ce résultat est environ vingt fois supérieur à ceux qu'il avait obtenus à Bondy, et les raisons en sont probablement de deux types : la nature des couches absorbantes et les caractéristiques locales de l'aquifère sont certainement différentes d'un site à l'autre : en effet, le puits de Bondy "donne de l'eau jaillissante à 3 pieds plus bas que le sol"², soit à un mètre de profondeur environ ; en revanche, l'eau dans le puits de la barrière du Combat est rencontrée à 16,5 mètres de profondeur³, l'eau injectée gravitairement à partir de la surface du sol possède donc une pression supérieure. En outre, les conditions de l'expérience ne sont pas les mêmes : à la barrière du Combat, il s'agit d'essais brefs (moins d'une heure) et discontinus (plusieurs jours entre les expériences), alors qu'à Bondy on mesurait une absorption continue pendant plusieurs dizaines de jours (le puits fonctionnant certainement avant et après la période d'observation).

Quoi qu'il en soit, on comprend, au vu des résultats obtenus par Emmery à la barrière du Combat, son enthousiasme pour les fontaines artésiennes négatives. Celles-ci devraient permettre l'évacuation de toutes les eaux surabondantes, par une solution ponctuelle, et en cela totalement opposée à l'idée de réseau, au moment même où ce concept prenait une place prédominante dans les techniques urbaines et l'aménagement du territoire. Quant à la question de la contamination, Emmery reprend à peu de choses près le raisonnement des experts de 1833. Si les nappes artésiennes sont quelquefois utilisées pour l'alimentation en eau, "on peut sans inconvénient y jeter les eaux pluviales ; [...] on peut encore y amener, mélangés aux eaux pluviales, les écoulemens, toujours si minimes des eaux ménagères."⁴ Par ailleurs, les puits artésiens particuliers sont rares car coûteux, les nappes artésiennes torrentueuses, leurs eaux filtrées par le sol qu'elles traversent, "de sorte que toutes ces circonstances rendent extrêmement peu probable, pour ne pas dire presque impossible, une communication assez libre pour être dangereuse entre les puits

1. EMMERY, *Puits artésiens d'absorption (...)*, op. cit., p. 25.

2. Selon le contrôleur de la voirie dans son rapport du 15 au 21 avril 1833. Archives de la Seine, VO³465.

3. EMMERY, *Puits artésiens d'absorption (...)*, op. cit., p. 7.

4. *Ibid.*, loc. cit.

d'absorption, généralement de très-loin en très-loin disséminés, et le petit nombre à prévoir de puits pour l'alimentation ménagère, forés à de grandes profondeurs."¹ On aura néanmoins soin de rechercher, pour des écoulements importants d'eaux industrielles, des nappes non utilisées pour l'alimentation.

De ces péripéties absorbantes, il faut retenir que les rapporteurs de 1832 ont bien accommodé le comportement des eaux souterraines à leur propos. C'est qu'il y avait urgence, l'assainissement du sol et de la surface ne pouvant se faire qu'à ce prix. La commission de 1835 n'est pourtant pas favorable : "la majorité de la commission pense qu'il est prudent de ne pas y envoyer de l'eau sale [dans la nappe artésienne], mais elle pense aussi que cet envoi pourrait se faire sans inconvénient dans les campagnes, parce que la première nappe y étant toujours bonne et suffisante, on n'a jamais besoin de recourir aux inférieures."² Est-ce à dire qu'un membre de la commission penchait pour les puits d'absorption ? Peut-être Parent-Duchâtelet, ne voulant pas se déjuger après le rapport sur Bondy. Ladite commission préconise quant à elle une séparation à la source des liquides et des solides à l'aide de fosses mobiles, et un rejet des eaux usées en Seine, permis par leur faible importance par rapport au débit du fleuve³.

Par la suite, les textes ne mentionnent plus que très rarement l'existence des puits d'absorption pour l'évacuation des eaux usées⁴, et sans jamais donner le détail de leur utilisation. La deuxième moitié du XIXe siècle sera tout entière occupée de la question du tout-à-l'égout.

¹. *Ibid.*, p. 8.

². LABARRAQUE, CHEVALLIER, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 283.

³. Comparaison du débit de la Seine (Q_s) et du débit des eaux usées (Q_{eu}) sur la base des vidanges de 1834 (102 800 m³, dont 75 % de matières liquides). *Ibid*, pp. 287-288.

	plus bas étiage	basses eaux ordinaires	débit moyen
Q_s m ³ /s	75	100	255
$\frac{Q_s}{Q_{eu}}$	30 700	40 900	104 300

⁴. Par exemple, on trouve, à l'article "Artésiens" du *Dictionnaire des arts et manufactures et de l'agriculture* de Ch. Laboulaye (4e éd., Paris, 1874, vol. 1), les lignes suivantes : "Quelquefois enfin, ces trous sont forés dans le but tout à fait contraire, et servent à faire infiltrer dans des couches perméables des eaux superficielles dont on est embarrassé ; on leur donne alors le nom de *puits absorbants* ou *boitouts*" ; mais la suite du texte est composée d'extraits de l'article d'Arago, publié en 1834 (*op. cit.*).

Une des raisons qui peuvent avoir amené ce désintérêt subit pour les puits absorbants est qu'ils peuvent avoir connu le même sort que les fontaines positives : jusqu'en 1840, on plaçait de nombreux espoirs dans leur utilisation pour l'alimentation en eau¹. Mais les échecs cuisants qu'elles ont parfois essuyés ont plus ou moins dissuadé de leur utilisation, soit que l'on n'ait pas trouvé l'eau recherchée, soit qu'elle se soit avérée impropre à la consommation. Les puits artésiens ont quelquefois conduit à d'énormes pertes financières² qui ont amené à les considérer avec suspicion³. Le même type de déconvenue a pu se produire pour les puits d'absorption, qui se colmataient probablement rapidement.

Les puits d'absorption quittent donc le domaine de l'assainissement public et urbain, et leur existence semble totalement oubliée par l'administration, comme en témoigne une note de 1900⁴. Pourtant, une réglementation existait bel et bien : dans les années 1830, l'emploi des puits absorbants s'est suffisamment répandu pour qu'une ordonnance soumette leur exécution à autorisation⁵. Il est vrai que cette ordonnance fut

¹. Non seulement en France, mais aussi à l'étranger : selon Girard et Parent-Duchâtelet (*op. cit.*, p. 4), grâce aux programmes lancés en France par la Société Royale et Centrale d'Agriculture et la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale entre 1818 et 1830, "dans d'autres pays, tels que l'Angleterre et l'Amérique, les puits forés, qu'on y connaissait déjà, prirent une nouvelle faveur, et se multiplièrent partout d'une manière remarquable." Plus tard Figuier (*Merveilles de la science*, Paris, 1869, vol. 4, p. 597) écrit : "Parmi les pays étrangers, l'Angleterre, la Belgique, l'Allemagne et l'Italie sont ceux où l'art du sondage a fait le plus de progrès."

². La municipalité de Chartres dépense 40 000 francs entre 1828 et 1834 pour un forage qui, poussé à 260 m, ne donne rien (BETHOUART, *Histoire de Chartres (1789-1900)*, Chartres, 1908, vol. 2, pp. 332, 378). Reims, Rouen, Mulhouse connaissent des déconvenues similaires.

³. Voir par exemple la polémique soulevée par l'éventuel forage d'un puits artésien à Troyes : BOUTIOT, *Réponse aux objections soulevées à propos des études sur le forage projeté d'un puits artésien à Troyes*, Troyes, 1852.

⁴. "[...] Dans certaines régions du département où le sol est très perméable, et où il n'existe pas d'égout, on trouve encore de nombreux puisards ou puits absorbants mais ces puisards sont construits dans l'intérieur des propriétés et l'administration ne peut en connaître l'existence puisqu'ils sont en effet le plus généralement établis dans les jardins et reçoivent les eaux pluviales et ménagères des habitations.

"Ces installations constituent une cause grave de contamination de la nappe aquifère et si l'administration pouvait constater officiellement leur existence elle en poursuivrait énergiquement la suppression. Il ne peut donc y avoir de réglementation en la matière car en l'ayant édictée, l'administration aurait reconnu aux puisards une existence légale[,] ce qu'elle n'a jamais admis." Archives de la Seine, série D1S8, carton 1.

⁵. "Ordonnance concernant les puits, puisards, puits d'absorption et égouts à la charge des particuliers ; 20 juillet 1838", in : PREFECTURE DU DEPARTEMENT DE LA SEINE, *Recueil des règlements sur l'assainissement*, Paris, 1872, pp. 94-98, articles 1 et 13.

complétée par une circulaire datée du 31 juillet 1882, par laquelle le Ministre du Commerce interdisait l'utilisation des puits absorbants, sauf dans des cas exceptionnels¹. Mais, remarque le géologue Robert Soyer :

"Où et quand doit-on tolérer cette exception ? Il est probable que de telles dérogations étaient prévues pour des localités où de grands établissements industriels ne disposent pas d'autre moyen de perdre les eaux résiduaires, mais les mêmes localités ne disposaient pas non plus, pour la plupart, d'autre moyen de s'approvisionner en eau que d'aller chercher celle-ci en profondeur par un forage, et les principes élémentaires de l'hygiène étaient ainsi violés avec la bénédiction officielle."²

Toujours est-il que la note mentionnée ci-dessus, ainsi que les réflexions de Soyer, nous laissent entendre que l'ordonnance, comme la circulaire, n'ont jamais été appliquées sérieusement, car nous savons que l'on a continué à forer de tels puits tout au long du XIXe siècle : en effet, la carte hydrologique de Delesse³ comprend vingt puits absorbants dans le département de la Seine⁴. En outre, les archives Lippmann⁵ conservées par le B.R.G.M. attestent du forage d'environ soixante-dix puits absorbants en France entre 1833 et 1911 (tableau 40).

Avec le XXe siècle, la construction des égouts va se généraliser en France. Pourtant, le forage de puits d'absorption ne sera pas complètement abandonné : ainsi, la loi sur la Santé Publique de 1902 ne les interdit pas formellement ; "les règlements sanitaires des villes sont d'ailleurs contradictoires. Par celui du 22 juin 1904, la Ville de Paris interdit formellement l'emploi des puits absorbants de toute nature, mais celui de Lyon (26 Mai 1903) en tolère la création dans des cas particuliers de force majeure et

¹. R. SOYER, "Le rôle des sciences géologiques en technique sanitaire", *Annales du centre d'études et de documentation paléontologiques* (7), 1954, p. 18.

². *Ibid.*, loc. cit.

³. Ingénieur des Mines, membre de l'Institut, inspecteur des carrières du département de la Seine sous le Second Empire.

⁴. 14 d'entre eux sont situés dans la ville de Paris (dont les puits des barrières du Combat et de la Cunette), 1 à Neuilly/Seine, 1 à Suresnes, 1 à Boulogne, 1 à Villetaneuse, 1 dans le fort d'Ivry et 1 à la voirie de Bondy. A. DELESSE, *Carte hydrologique du département de la Seine*, Paris, 1862, 1 feuille, 1/25 000.

⁵. Il s'agit d'un recueil de sondages réalisés au cours du XIXe et au début du XXe siècles par différents sondeurs (dont trois contemporains de Mulot : Degousée et les frères Flachet), qui ont donné naissance à la société Lippmann. Ces archives se composent de douze volumes, renfermant chacun plus de cent coupes de puits réalisés en France et à l'étranger.

après enquête des services sanitaires."¹ En 1907, Emile Gerards les évoque dans son colossal *Paris souterrain*, pour l'assèchement de "terrains sous lesquels la présence de diverses nappes superficielles était un obstacle à l'établissement de sous-sols profonds"².

Cependant, leur emploi s'est trouvé extrêmement réduit par l'application plus stricte des règlements d'hygiène et grâce à une meilleure connaissance des nappes souterraines : la commission réunie en 1833 afin de se prononcer sur la possibilité d'injecter dans le sol les eaux usées de la voirie de Bondy se trompait lorsqu'elle affirmait que l'"on peut envoyer sans crainte dans le sol les matières les plus infectes"³.

Pourtant, une des solutions adoptées aujourd'hui pour le stockage d'eaux usées est l'injection dans les couches profondes⁴, comme H. Aust et K. Kreysing le font remarquer :

"L'enfouissement des eaux résiduaires dans des roches perméables du sous-sol représente une méthode d'élimination dont les pays industriels se préoccupent de plus en plus, car d'une part, la quantité des matières liquides de rejet, présentant un danger pour l'environnement, est en augmentation constante, et, d'autre part, le rejet dans les cours d'eau pratiqué jusqu'ici, a des conséquences de plus en plus dangereuses.

"Les organismes d'état et les groupements industriels demandent aux géologues de mettre en évidence des roches magasins sûres, en sous-sol, pour le stockage, hors citerne, des résidus liquides. On ne pense pas seulement à l'injection sur le continent mais aussi dans la plate-forme continentale de la Mer du Nord."⁵

1. SOYER, *op. cit.*, p. 19.

2. GERARDS, *op. cit.*, p. 157.

3. GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 358.

4. Les roches réservoir utilisées sont des grès, des calcaires ou des dolomies, lorsque les eaux qu'elles contiennent sont déjà impropres à la consommation (eaux fortement minéralisées). Lorsque le réservoir est fermé, le stockage se fait par compression de l'eau native ; s'il est ouvert horizontalement, celle-ci sera déplacée, ce qui peut entraîner la contamination des eaux douces voisines.

5. H. AUST, K. KREYSING, "Les facteurs géologiques et la pratique de l'injection des eaux résiduaires industrielles dans des couches profondes du sous-sol en R.F.A.", in : *La protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine*, actes du colloque national d'Orléans, mars 1977, vol. 1, p. 12.

Si cette technique est peu utilisée en France où il n'y avait en 1985 que deux puits profonds dans le bassin parisien¹ et quelques uns en Alsace (pour le rejet des saumures provenant des potasses²), elle est au contraire très répandue aux Etats-Unis où l'on a recensé plus de 220 000 puits d'injection en 1983³. Ce nombre se rapporte aux puits de toutes profondeurs utilisés pour l'injection de tous les types d'eaux usées ; en effet, si certains distinguent les puits peu profonds («shallow injection») qui concernent la zone de l'eau douce saturée (parfois plus de mille mètres de profondeur), des puits profonds qui rejoignent les eaux très chargées en sels (quelques centaines à quelques milliers de mètres)⁴, il n'en est pas de même aux Etats-Unis où certains puits en cours d'utilisation aujourd'hui sont d'un type très voisin des fontaines artésiennes négatives du XIXe siècle. Ainsi à Saint Petersburg (Floride) un forage a été mis en service en 1979 ; ce puits, d'environ 300 mètres de profondeur, sert à l'évacuation des eaux usées issues du réseau municipal, lorsque la demande pour l'irrigation agricole a été satisfaite⁵. De plus, une enquête menée sur un échantillon de 278 puits américains en 1973 a montré que 17 d'entre eux avaient une profondeur inférieure à 300 mètres, selon toute vraisemblance dans la zone des eaux douces⁶. On peut penser qu'il existe aux Etats-Unis des forages absorbants beaucoup plus anciens, puisque J.J. Hickey et J. Vecchioli signalent que, en Floride, le plus ancien d'entre eux a été percé en 1904⁷, ce qui montre la continuité qui existe entre les fontaines artésiennes négatives et les puits d'injection. D'ailleurs, l'argumentaire développé est exactement le même, seule la profondeur change.

L'utilisation des puits artésiens d'absorption pour l'évacuation des vidanges des fosses d'aisances marque la période intermédiaire entre l'absence de réseau technique urbain et son avènement. En effet, on se résout difficilement à perdre la source de revenus

1. H. AUST, K. KREYSING, M. WALLNER, *Hydrological principles for the deep-well disposal of liquid wastes and wastewaters*, Koblenz : Internationale Hydrologische Programm der UNESCO / Operationelle Hydrologische Programm der W.M.O., pp. 31-32.

2. R. MOREAU, "La pollution des eaux souterraines : hygiène et épidémiologie", in : *Hydrogéologie et vulnérabilité des nappes*, actes du colloque de l'Association des Techniciens de l'Environnement d'Azay-le-Ferron, juin 1986, n. p.

3. J. J. HICKEY, J. VECCHIOLI, "Subsurface injection of liquid wastes with emphasis in injection practices in Florida", *United States geological survey/Water Supply paper* (2281), 1986, p. 10.

4. AUST, KREYSING, WALLNER, *op. cit.*, p. 22.

5. HICKEY, VECCHIOLI, *op. cit.*, p. 13.

6. AUST, KREYSING, WALLNER, *op. cit.*, p. 26.

7. HICKEY, VECCHIOLI, *op. cit.*, p. 11.

que représentent les déjections solides. Girard et Parent-Duchâtelet n'écrivaient-ils pas, des bassins de la voirie de Bondy :

"les matières fécondantes qui les remplissent, y sont peut-être perdues pour toujours.

"Nous ignorons quelle peut être la valeur exacte de ces matières, déposées dans des localités aussi mal choisies ; mais [...] nous ne craignons pas de nous tromper, en portant cette valeur à la somme de plusieurs centaines de milliers de francs, une fois réduites en poudrette."¹

Ainsi, c'est d'abord une adaptation du système des voiries qui a été recherchée, dans le but d'obtenir, en fin de traitement, des matières solides commercialisables. On retrouve le même difficile passage de la notion de déchet solide à celle d'eaux usées dans le principe des tinettes filtrantes, appareils diviseurs, etc., qui ont été conçus au XIX^e siècle et qui permettaient la séparation des solides et des liquides reçus par les fosses. Nous allons voir que par la suite, les partisans du tout-à-l'égout ont voulu démontrer le caractère lucratif de l'entreprise en soulignant que la ville de Paris pourrait fertiliser à peu de frais des terres agricoles dont elle pourrait vendre les produits, grâce à l'épandage des eaux usées collectées par les égouts ; mais leurs propositions feront long feu.

¹. GIRARD, PARENT-DUCHÂTELET, *op. cit.*, p. 17.

Tableau 40. Puits d'absorption figurant dans les archives Lippmann (1833-1911).

La profondeur est indiquée en mètres.

date	prof.	localisation
1833	55,66	rue Picpus, Paris
1836	100,00	34, rue de la Victoire, Paris
1836	23,00	34, rue de la Victoire, Paris
1837	16,33	81, rue du Fbg St-Martin, Paris
1839	76,17	Bazar Bonne Nouvelle, Paris
1839	10,17	Herblay, Seine et Oise
1840	44 33 26	Val de Fleury
1840	88,82	Barrière de Charenton, Paris
1841	142,30	Fossés de Vincennes
	166,93	La petite Villette, Paris
1841		
1841	56,19	13, rue Laffitte, Paris
1841	a	Romainville, route de Belleville
1842	36,0	Boulogne
1842	85,00	Créteil
184.	40	35, rue Chabrot, Paris
184.	45,30	17, rue Neuve Coquenard, Paris
1850	24,00	Père Lachaise
1850	31,10	Fère en Tardenois
1850	18,50	10, rue Boileau, Auteuil
b	48	Les Thermes, près de Paris
1857	15,04	Saint Lusne, Seine et Marne
1857	48,76	vers Saint-Denis
1859	61,16	21, rue Pigalle, Paris
1860	35	Lagny, Seine et Marne
1860		Laferté sous Jouarre, échec
1860	28,20	Auteuil
1862	131,60	La Ferté Vidame, Eure et Loir
1863	72,15	Antony
1864	100,00	Autrèches, Oise
1865	31,50	Liverdy
1869	41,51	Lieusaint, Seine et Marne
1869	52,00	Champeaux, Seine et Marne
186.	38,37	Bagnolet
186.	27	Ménilmontant
186.	21,50	Auteuil
1872	39,00	Livry
1873	15,70 15,10	Laveciennes

date	prof.	localisation
1876	30,73	La Jonchère, Seine et Marne
1876	50,94	vers Saint Denis
187.	83,50	Nanterre
187.	34,83	Versailles
187.	32,88	38, route de Montesson, Vésinet
187.	51,02	Gretz, Seine et Marne
1884	23,42	Chatou, Seine et Oise
1887	23,20	23, rue de Dunkerque, Paris
1887	22,20	Cimetière du Père Lachaise, Paris
1892	61,00	près de la porte de Ménilmontant
1892c	44,26	Garches, Seine et Oise
1892c	45,80	Le Raincy, Seine et Oise
1892c	85,67	Neuilly Plaisance
1893	41,86	Abattoirs de La Villette
1896	32,70	Vésinet, Seine et Oise
1896	34,05	Nogent sur Marne
1896	39,75	Vierzon, Cher
1896	8,44 12,02 12,81 6,20	Château de Vervaine, Alençon, Ome
1897	42,03	73, rue des Prairies, Paris
1899	45,57	Le Raincy, Seine et Oise
1899	30,89	Vaujours
189.	43	Gare de La Villette
189.	150,25	Visy
189.	51,75	Cernay-Ermont, Seine et Oise
189.	38,61	Le Raincy, Seine et Oise
189.	45,75	La Glaisière de Toulon
189.	54,70	96, rue des Fourneaux, Paris
1902	12,06 13,10	Manonviller, Meurthe et Moselle
1904	42,00 54,78	Le Raincy, Seine et Oise
1904	21,50	Montigny les Corneilles, S et O.
1911	44,30	Trouville, Calvados

a - sondage horizontal.

b - vers 1850.

c - vers 1892.

III.4.3. MARAIS ARTIFICIELS

"Toute l'étendue des terres en culture, disponibles pour cet usage dans le département de la Seine n'y suffirait pas ; c'est-à-dire que ce département, y compris Paris lui-même, ne serait plus qu'une vaste voirie de Bondy : terre classique du choléra."

A. LENCAUCHEZ, *Note sur les vidanges*, (...), Paris, 1871, p. 7.

"Nous y avons même vu un très-beau melon dont le parfum nous donnait la tentation de ne pas nous en tenir à le regarder."

Utilisation des eaux d'égout de la ville de Paris, Rapports et extraits des procès-verbaux des séances de la Société impériale et centrale d'horticulture de France, Paris, 1870, p. 12.

La caution scientifique¹ sera utilisée différemment dans la seconde moitié du XIX^e siècle, où l'art d'accommoder les restes se portera vers les champs d'épandage. En effet, à partir de 1850 et sous certaines conditions, une partie des eaux usées domestiques est tolérée dans les égouts². Mais quel exutoire choisir pour ceux-ci ? Les derniers soubresauts de la doctrine utilitariste conduisent les ingénieurs chargés de l'assainissement à proposer d'épandre les eaux sur des terrains jusqu'ici peu fertiles, en aval de Paris, permettant à la capitale de rentabiliser une ultime fois les excréta, et, il est vrai, d'assainir la Seine qui "est arrivée, en aval de Paris, à un état d'impureté qui ne saurait être toléré plus longtemps ; ce fleuve promène, sur une longueur de 130 km, de sérieuses menaces de maladie et de mort pour tous ses riverains"³, nous dit Justin Dromel en 1875.

En effet, il faut bien se rendre à l'évidence : la vidange ne peut plus être traitée comme un solide. Rappelons brièvement les faits : dès les années 1850 donc, les

¹. On pourra trouver le terme un peu fort, mais son emploi nous semble d'autant plus justifié que notre analyse est confirmée par celle de Dupuy et Knaebel (*op. cit.*, p. 23) lorsqu'ils étudient les rapports de l'Etat et des propriétaires immobiliers lors de la réalisation du réseau d'égout.

². "Les ordonnances de police de décembre 1850 et du 8 novembre 1851 ont autorisé l'expansion des urines dans les ruisseaux, après désinfection préalable et moyennant un droit de 1 fr 25 c par mètre cube de la capacité des fosses" ; L. A. BEAUDEMOULIN, "Assainissement", *Revue de l'architecture et des travaux publics*, vol. 11, 1853, p. 320. On utilise pour la désinfection des sels métalliques (de zinc principalement) afin de transformer tous les sulfhydrates en sulfures métalliques ; "on reconnaît que la transformation est parfaite en plongeant dans les matières de la fosse un papier à l'acétate de plomb qui reste blanc. Si le papier noircit, c'est qu'il reste des sulfhydrates non décomposés." BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 268.

³. J. DROMEL, *L'assainissement de Paris et la société provisoire de Bondy : ses travaux, son programme*, Paris, 1875, p. 17.

ingénieurs s'intéressent à la *méthode flamande*¹ d'irrigation par les eaux usées. La ville de Paris dégage une somme de 20 000 francs et des premiers essais sont faits à la ferme de Vaujours et au bord de l'Ourcq, dans la zone des fortifications², qui visent à vérifier d'une part la valeur fertilisante des matières utilisées, d'autre part leur innocuité, et par conséquent la comestibilité des produits récoltés. Déjà en 1857, l'enthousiasme est grand de la part des ingénieurs des Ponts et Chaussées — le projet est suivi par A. A. Mille, responsable du dépotoir de la Villette — et des agronomes — Moll est professeur de chimie agricole au Conservatoire des Arts et Métiers :

"Tandis que d'un côté, nous prouvions avec quel empressement la culture accepterait ce nouvel engrais [...] ; d'un autre côté [...] nous démontrions que [...] on pouvait transformer les 300 hectares de maigres gazons des fortifications en riches herbages, capables de nourrir 1 000 vaches laitières ; nous prouvions que l'acte de végétation dénature si complètement cet engrais, qu'aucune odeur, qu'aucune saveur, ne se transmettent aux produits".³

Pourtant, les résultats sont inégaux selon les cultures. Si le propriétaire de la ferme de Vaujours — située à deux kilomètres de la voirie de Bondy — s'engage dans un premier temps à utiliser 10 000 m³ par an d'eaux usées sur 72 hectares, les résultats des années 1858-1859 sont décevants : certes, la croissance végétale est rapide, mais les plantes sont fragiles ; l'engrais est trop concentré⁴ (Bondy ne reçoit que des eaux-vannes, non étendues d'eaux pluviales), on le diluera par la suite.

Mais le principal problème n'est pas, pour la ville, à Bondy : en effet, depuis 1855, une conduite envoie les eaux surabondantes vers l'égout de Pantin et rejoint l'exutoire général de Paris, dans la Seine, à Clichy, à partir de 1858⁵. C'est donc vers l'aval de

¹. MOLL, MILLE, *Application des vidanges à la culture*, rapport présenté à M. le Préfet de la Seine, Paris, 1857, p. 17.

². *Ibid.*, pp. 3-4.

³. MOLL, A. A. MILLE, *op. cit.*, pp. 18-19. Le projet d'irrigation de la zone des fortifications n'a pas eu plus de développement, ces terrains étant promis à d'autres destinées qui ont été retracées par Jean-Louis Cohen et André Lortie (*Des fortifs au périph : Paris, les seuils de la ville*, Paris : Picard / Ed. du Pavillon de l'Arsenal, 1991).

⁴. B. VEDRY, *Contribution à l'histoire des procédés d'épuration biologiques des eaux résiduaires*, mémoire de D.E.A., C.N.A.M., Université de Paris IV et de Paris VIII, E.H.E.S.S., sept. 1992, pp. 29-30.

⁵. Le premier tronçon du collecteur général de la rive droite de Paris (des fortifications à la Seine) est achevé en janvier 1858, et l'ouvrage est terminé en 1861. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 81 sq.

Paris que vont désormais se porter les regards. En effet, puisque l'infection de la Seine émeut, il faut y remédier, d'autant plus que le débouché des deux grands collecteurs parisiens à Asnières et Saint-Denis provoque des atterrissements dans le fleuve, estimés à 118 000 m³ par an en 1870¹, qui doivent être dragués aux frais de la ville — elle y consacre annuellement 150 000 francs² —, comme le ministère des travaux publics l'y a enjoint³. Trois solutions sont envisageables : la création d'une conduite à la mer⁴, l'irrigation, ou le traitement. La première est coûteuse, elle ne séduit guère la ville, c'est sur les secondes que l'on va travailler. Certains ingénieurs, comme Mille, sont enthousiasmés par le système anglais du tout-à-l'égout, dont ils feront la promotion malgré les réticences d'Hausmann — qui lui préfère la "perte immédiate à l'égout des liquides, quels qu'ils soient [...] ; [l'] évacuation souterraine séparée des matières solides désinfectées, pour être converties en engrais transportable"⁵ — et de Belgrand, qui dans un premier temps conclut à l'"impossibilité de la *méthode flamande* à Paris"⁶ — selon lui, il suffit d'avoir préservé de l'infection l'ouest de Paris et les communes situées immédiatement à l'aval de la capitale, "c'est-à-dire [...] la plus riche et la plus luxueuse partie de la banlieue"⁷.

Quoi qu'il en soit, dans les années 1860, Mille et Alfred Durand-Claye expérimentent à Clichy sur 1,5 hectare, à la fois l'irrigation, le colmatage et le traitement par le sulfate d'alumine⁸. L'irrigation est pratiquée de mars à octobre sur les terres cultivées que l'on abreuve en tout de 3,6 mètres d'eau (36 000 m³/ha) — "c'est à peu

¹. *Ibid.*, p. 349.

². BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 1, *op. cit.*, p. 484.

³. *Ibid.*, p. 485.

⁴. Ducuing propose de creuser un canal de cent quarante-quatre kilomètres allant déboucher à hauteur de Canteleu, avec des prises d'eau de place en place, pour un coût de quatre-vingt-dix millions de francs — "ce sera Gennevilliers en long au lieu d'être Gennevilliers en large", s'exclame Dromel (*op. cit.*, p. 29) —, la solution de l'égout couvert quant à elle pose le problème du curage (*ibid.*, p. 30). Voir aussi : J. BRUNFAUT, "Projet de conduite des eaux d'égout et de vidange de Paris à la mer, leur utilisation à l'agriculture par irrigation dans leur parcours jusqu'à la mer" ; B. PASSEDOIT, "Résumé du projet de canal-collecteur-déversoir entre Paris et la Manche", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 2, *Annexes*, Paris, 1876, pp. 119-139, 140-141.

⁵. *Mémoires du baron Haussmann*, vol. 2, *op. cit.*, p. 74.

⁶. BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, p. 306.

⁷. *Ibid.*, p. 50.

⁸. MILLE, A., DURAND-CLAYE, *Compte rendu des essais d'utilisation et d'épuration*, Paris, 1869, p. 1.

près ce que donne, avec des peines infinies l'arrosoir du maraîcher"¹ — ; le colmatage de novembre à mars, sur des terres incultes — "par la suite on peut compter que dans les gravières d'alluvions de la plaine, chaque hectare digèrera à la rigueur en hiver 60 000 m³"², soit dix fois la pluviométrie annuelle moyenne parisienne — ; les excédents sont envoyés dans "deux bassins de 10 m de large sur 100 m de long avec une profondeur de 2 m ; ils produisent dans le terrain de petits vallons qu'on peut barrer plus ou moins haut dans leur longueur pour les consacrer au traitement chimique."³ Les vingt-sept types de culture n'ont pas tous donné de bons produits, mais le bilan est aussi positif que sur les fortifications.

Le terrain de Clichy est trop exigü et la capitale passe en 1869 un accord avec la commune de Gennevilliers afin de poursuivre ses expériences, d'abord sur 6 hectares, puis sur 115 en 1874, 295 en 1876, 379 en 1878, 422 en 1880⁴. On y envoie environ 50 000 m³/ha/an d'eaux usées⁵, et les résultats sont, selon le médecin Marié-Davy, probants, comme le montre la comparaison des teneurs en azote organique et ammoniacal des eaux de la Seine au voisinage du drain (tableau 41).

Tableau 41. Qualité des eaux de la Seine au voisinage du collecteur d'Asnières (1880).

Eaux	Azote : organique ammoniacal	
• du drain d'Asnières, "qui, comme on sait, reçoit les eaux d'infiltration d'une grande surface de jardins maraîchers arrosés à l'eau d'égouts depuis plusieurs années" (p. 3), à son débouché dans la Seine	0,006.....	0,050
• de la Seine, rive gauche, 20 m en amont du drain	0,014.....	0,123
• de la Seine, rive droite "à la hauteur du débouché du drain et à douze ou quinze cents mètres en aval du débouché du collecteur de Clichy" (p. 4).....	0,970.....	0,207

D'après : H. MARIÉ-DAVY, *Epuration des eaux d'égouts par le sol de Gennevilliers*, extrait du *Journal d'hygiène*, n° 202, Paris, 1880, pp. 3-4.

1. *Ibid.*, p. 15.

2. *Ibid.*, loc. cit.

3. *Ibid.*, p. 13.

4. VÉDRY, *op. cit.*, p. 49.

5. MARIÉ-DAVY, *op. cit.*, p. 6.

La surface disponible à Gennevilliers est elle aussi insuffisante et l'on songe dès 1875 à étendre la zone d'irrigation et de colmatage vers la forêt de Saint-Germain (figure 56) : 800 hectares à Achères en 1889, où l'on épand 4 000 m³/ha/an, alors que le débit des égouts parisiens est en 1890 de 240 000 m³ par jour ! Une nouvelle extension est réalisée en 1899 à Méry-Pierrelaye (800 ha), puis à Carrières-Triel (700 ha). Il manque, en 1900, 1 500 ha pour traiter par le sol toutes les eaux usées de Paris (240 millions de m³ par an)¹. Le comble sera atteint dans les années 1920 par un projet de champs d'épandage dans la Champagne sèche, naturellement peu fertile et dévastée par les tranchées ; la ville de Paris étudie deux variantes, toutes basées sur un aqueduc de 140 km de long, l'une au nord de Reims où l'on localise 38 000 ha irrigables, l'autre au sud de la Marne (28 000 ha), une irrigation au rythme de 4,5 l/m²/j permettrait de se débarrasser de toutes les eaux usées de Paris (1 700 000 m³/j)².

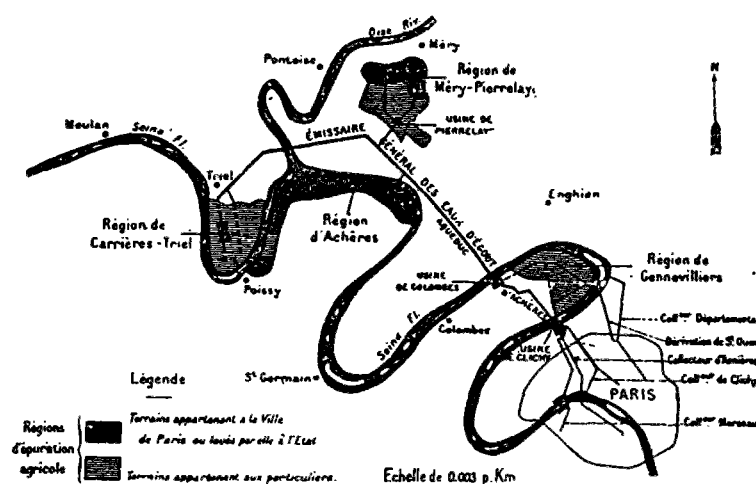


Figure 56. Carte générale des régions d'épuration agricole (1908).

Gennevilliers : 900 ha ; Achères : 1 000 ha ; Méry-Pierrelaye : 2 150 ha ; Carrières-Triel : 950 ha.

Source : E. GERARDS, *Paris souterrain*, Paris, [1908], pp. 499-500.

1. VÉDRY, *op. cit.*, pp. 51-52.

2. *Ibid.*, pp. 87-88.

Mais revenons aux années 1870. Les ingénieurs de la ville ont beau dire et beau faire, force est de constater que leur enthousiasme pour l'épandage n'est pas partagé par tous, bien que Belgrand se rallie finalement cette solution¹. On s'émeut des odeurs, de l'insalubrité du lieu, de la baisse des prix fonciers — "les terrains ont énormément perdu de leur valeur ; ce qui valait 30.000 francs l'hectare [...] ne vaut plus guère que 3.000 francs. Quant aux terrains irrigués, ils ne valent rien de plus que les autres"², s'indigne l'un des délégués de la commune de Gennevilliers en 1876. L'annexion d'une partie de la forêt de Saint-Germain soulève un tollé de la part des riverains et des municipalités concernées³, d'où les multiples commissions, procès, rapports. L'enjeu est de taille pour la ville de Paris qui entend se débarrasser à bon compte de ses déchets : "deux millions deux cent mille Parisiens ingèrent pour leur entretien journalier trois millions de kilogrammes de matériaux alimentaires. Ils restituent chaque jour 2,500,000 kilogrammes de matériaux épuisés ou transformés par la digestion. [...] Les *excreta* d'une ville telle que Paris menacent d'infecter tout le sol de la ville et même les environs"⁴, rapporte

1. BELGRAND, "Mémoire sur l'assainissement de Paris (...)", 20 sept. 1871, in : BELGRAND, *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *op. cit.*, pp. 319-360.

2. "Procès-verbaux des séances de la commission chargée de donner son avis sur l'avant-projet d'un canal d'irrigation à l'aide des eaux d'égout entre Clichy et la forêt de Saint-Germain", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 1, *Enquête*, Paris, 1876, p. 110. A tel point qu'une des sous-commissions est chargée d'examiner la question foncière, ce qu'elle fait avec la plus grande mauvaise foi, en tentant de démontrer qu'en théorie les prix des terrains devraient augmenter, puisque "les terres précédemment incultes sont devenues des champs fertiles", mais ne disant rien de la situation réelle. PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout. Commission d'études. Rapport de la troisième sous-commission chargée d'étudier l'influence exercée dans la presqu'île de Gennevilliers par l'irrigation en eau d'égout sur la valeur vénale des terres de culture*, Paris, 1878, p. 32.

3. Comme en témoigne la création du Comité de défense de la forêt de Saint-Germain. DUVERDY, *Conférence faite à Paris le 27 mai 1884 sur les eaux d'égout de Paris et la forêt de Saint-Germain*, Saint-Germain, 1884, p. 5.

4. "Rapport sur l'évacuation des vidanges par la voie publique, fait au nom d'une commission composée de MM. le dr Bourneville, Durand-Claye, le Dr H. Gueneau de Mussy, Hudelo, Koechlin-Schwartz, le Dr Lamouroux, A. J. Martin, le dr Napias, le Dr E. R. Perrin, le dr Proust, le dr Vallin, le Dr Vidal, et E. Trélat, rapporteur", in : *De l'évacuation des vidanges dans la ville de Paris*, rapports extraits de la *Revue d'hygiène et de police sanitaire* (1880-1881-1882), Paris, s. d., p. 18.

Emile Trélat, un des architectes membres de la Société de médecine publique et d'hygiène professionnelle, créée en 1877¹ ; il l'est aussi pour les communes traversées qui se voient sinistrées par cette activité peu ragoûtante, mais mises devant le fait accompli : Gennevilliers aura beau citer l'article 4 du traité passé avec la ville de Paris, qui précise que l'irrigation n'est tolérée qu'à titre expérimental et que l'accord pourra être résilié à tout moment si elle entraîne des désagréments², la capitale est grande, grosse et puissante. De cette épopée ne subsiste aujourd'hui «que» l'énorme station d'épuration d'Achères.

En ce qui nous concerne, l'épisode de l'épandage n'est pas dépourvu d'intérêt, car la polémique scientifique s'engage autour de quatre thèmes étroitement imbriqués : pouvoir épurateur du sol, qualité des produits de la culture, niveau des nappes phréatiques et salubrité³.

En effet, que l'on pratique le colmatage (terme ambigu, puisqu'on se défend qu'un tel phénomène se produise) ou la culture, on compte sur une oxydation complète des matières organiques grâce à la porosité et à l'aération du sol. Les conclusions de l'enquête de 1876 sont d'ailleurs formelles : "après sept ans d'irrigation, le sol de Gennevilliers a conservé sa porosité des premiers jours"⁴, et les premiers projets tablent, nous l'avons vu, sur une irrigation de 50 000 m³/ha/a (soit 70 tonnes de matières minérales insolubles et 37,5 tonnes de matières organiques⁵), parce qu'"il est démontré d'une manière absolue que le filtre constitué par un sol sableux, comme celui de Gennevilliers ou de la forêt de Saint-Germain, n'est jamais engorgé par l'eau d'égout, quand l'évacuation des eaux débitées en bas de ce filtre est assurée."⁶ Démontré en effet par les analyses rapportées par Schlœsing :

¹. LEONARD, *op. cit.*, p. 311.

². "Procès-verbaux des séances de la commission (...), *op. cit.*, pp. 110-111.

³. Nous nous arrêterons principalement aux débats et conclusions de la commission de 1876, dont les membres sont H. Bouley (de l'Académie des sciences), président, Callon, professeur à l'Ecole centrale, Delesse, ingénieur en chef des mines, Lagneau, médecin, Laizier, président de la Société des horticulteurs de la Seine, Orsat, industriel à Clichy, Pagel, maire de l'île Saint-Denis, Porlier, directeur au ministère de l'Agriculture et Schlœsing, directeur de l'école d'application des manufactures de l'état. Belgrand, Durand-Claye, Mille, n'en sont pas membres mais participent souvent aux débats.

⁴. "Rapport de la commission", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 1, *op. cit.*, p. 53.

⁵. *Ibid.*, p. 67.

⁶. *Ibid.*, *loc. cit.*

"La teneur moyenne en azote du sable irrigué me paraît être à la surface de 0,001 ; dans les bons terrains, cette teneur varie de 0,0015 à 0,002 ; la teneur en azote ne m'a, d'ailleurs, pas semblé plus grande dans les terrains non irrigués : elle est aussi de 0,001. Si l'on descend en profondeur à 1 mètre 20 de la surface, il n'y a plus que 0,00005 d'azote dans les terrains irrigués. Ces observations sont en tous points conformes aux résultats qu'accusent les enquêtes anglaises : la terre ne gagne rien ; la matière organique se brûle, passe à l'état d'acide azotique qui, dissous par l'eau, disparaît dans les nappes souterraines sans exercer aucune action nuisible ultérieure. A la surface même, les matières d'égout disparaissent ; elles ne forment pas de terreau, et ces résultats, qui confirment ceux d'Angleterre, permettent d'assurer que le filtre ne s'encrassera pas."¹

Pourtant, la ville de Paris a bien dû réviser ses prévisions à la baisse, puisque ce ne sont plus que 4 000 m³/ha/a qui seront épandus à Achères. C'est que plusieurs problèmes semblent se poser. D'abord, si le colmatage du filtre est nié par les partisans de l'épandage, il semble bien qu'il se soit effectivement produit, comme le rapportent les médecins Danet, Bastin et Garrigou-Désarènes², chargés d'étudier la question de la salubrité par la municipalité de Gennevilliers.

Ensuite, si les membres de la Société centrale d'horticulture de France s'exclament, en 1869, "en résumé, Messieurs, nous avons été émerveillés de notre visite [...]. Là où l'eau a pénétré, végétation luxuriante ; où elle n'arrive pas, au contraire, aridité très-grande"³, et si la beauté des légumes récoltés n'est jamais mise en doute — Dromel, partisan du traitement chimique des effluents résume ainsi les premières expériences de Gennevilliers : "cinq hectares de de terres arides furent livrés à la culture maraîchère et, sans autre engrais que les eaux d'égouts, cette terre ingrate donna les plus magnifiques produits"⁴ —, il n'en va pas de même de leur comestibilité :

"Choux, navets, betteraves fondent de moitié par la cuisson, et nous tenons de la bouche de plusieurs éleveurs et nourrisseurs de bestiaux d'Asnières et de Gennevilliers qu'ils n'achètent plus les betteraves et les carottes de la plaine depuis qu'elle est irriguée.— Ces légumes ne se

¹. "Procès-verbaux des séances de la commission (...), *op. cit.*, p. 191.

². "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers par les eaux d'égout de la ville de Paris. Etude par les docteurs Danet, Bastin et Garrigou-Désarènes", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 2, *Annexes*, Paris, 1876, pp. 79-81. Voir aussi A. LENCAUCHEZ, *Note sur les vidanges, sur les égouts et sur la voirie de Bondy*, Paris, 1871, pp. 5-7.

³. "Rapports et vœux de la Société centrale d'horticulture de France", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 2, *op. cit.*, p. 20.

⁴. DROMEL, *op. cit.*, p. 23.

conservent pas, nous ont-ils dit. Ils se putréfient rapidement dans nos caves. Ils sont plein d'eau et ne nourrissent pas nos bêtes. [...] Quant aux pommes de terre, leur feuillage est presque partout d'un noir sombre et terne. Leurs lianes, très-développées, recouvrent la terre, de laquelle elles semblent ne pas pouvoir se détacher.— Le tubercule lui-même est d'une teinte noirâtre, avec des plaques bleues ou vertes qui témoignent d'un commencement d'altération de sa pulpe. Ouvrez cette pomme de terre. Vous la trouverez brune, pleine d'un liquide aqueux et un peu foncé qui s'écoule en abondance sous la moindre pression du doigt."¹

Enfin, paludisme et dysenterie vont se mettre de la partie. Dans un premier temps, lors des expériences de Clichy, les partisans de l'épandage vont clamer la salubrité de leurs activités :

"nous avons travaillé pendant un an à ciel ouvert & par tous les temps ; colmatages, arrosages, dépôts dans les rigoles & dans les bassins, extractions, dessiccations, pas une main d'œuvre qui n'ait subi la pluie & le soleil. Personne pourtant ne s'est plaint [...] ! Lorsque nous rendons au propriétaire le champ d'essai où il a été manié & enfoui près de 200 000 m³ d'eau d'égout, personne ne peut dire que le sol diffère du champ voisin. Nous avons donc été absolument inoffensifs"².

Il est vrai que l'opération était de faible ampleur quant aux surfaces concernées et que le site voisinait avec l'exutoire du collecteur parisien, notoirement plus insalubre — "il y a eu, dans le commencement, des accès de fièvre causés certainement par ces eaux"³, rapporte un médecin de Clichy.

A Gennevilliers, la situation est différente et l'enquête de 1876 doit bien reconnaître que "la fièvre paludéenne a réellement pris, depuis 1873, dans le village de Gennevilliers, un certain développement."⁴ Il y a néanmoins contestation sur les chiffres. Le médecin Georges Bergeron, chargé par la commission d'étudier la question et favorable à l'irrigation, compte quatorze cas de fièvres intermittentes en 1874 et treize en 1875⁵, Danet, Bastin et Garrigou-Désarènes énumèrent soixante-neuf cas de 1873 à 1875, dont au moins soixante et un pour les deux dernières années⁶ — on se rappelle que 1874

¹. "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers (...)", *op. cit.*, p. 83. Les pommes de terre sont probablement atteinte du mildiou.

². MILLE, DURAND-CLAYE, *op. cit.*, p. 18.

³. "Procès-verbaux des séances de la commission (...)", *op. cit.*, p. 103.

⁴. "Rapport de la commission", *op. cit.*, p. 61.

⁵. *Ibid.*, p. 62.

⁶. "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers (...)", *op. cit.*, p. 103.

consacre l'extension du site de Gennevilliers et le passage de l'expérimentation à l'application en grand. Ils y ajoutent trente cas de dysenterie, dont un mortel, survenus en deux mois parmi les 1 200 habitants de la presqu'île¹.

L'argumentation développée par la commission est habile : ne pouvant nier les faits en bloc, elle va en reporter les causes ailleurs. En effet, la nappe phréatique de la presqu'île de Gennevilliers, très proche de la surface puisqu'elle se situe déjà sur la carte hydrologique de Delesse publiée en 1862² à la cote 24,5 mètres alors que le sol est à 26 à 30 mètres d'altitude, monte depuis quelques années. Les raisons en sont multiples ; outre une possible erreur de 0,5 mètre de la part de Delesse, la mise en service du barrage de Bezons a entraîné le relèvement du plan d'eau de la Seine, donc probablement de la nappe, d'un mètre ; Belgrand estime que la répercussion des fortes pluies de février et mars 1876 se fait sentir aujourd'hui (juillet 1876) ; enfin, on ne peut révoquer en doute le rôle des irrigations³. Les conséquences en sont d'une part l'inondation d'un certain nombre de caves, d'autre part — selon la commission —, les résurgences d'eau formant mares, permanentes ou passagères⁴. Et si dans son entrée en matière, elle reconnaît que : "lorsque la nappe souterraine est, comme à Gennevilliers, à quelques mètres au-dessous de la surface du sol, ses variations de niveau peuvent avoir une influence énorme sur l'épuration, par les variations inverses qu'elles font subir à l'épaisseur utile du sol filtrant"⁵, elle ne veut attribuer les fièvres qu'à ces mares situées à l'ouest du village, car "la fièvre est presque localisée dans la partie du village exposée à l'ouest et au sud-ouest [...]". Le village des Grésillons, bâti au centre des irrigations, et les maisons isolées bâties au milieu des terres irriguées, sont jusqu'ici préservés de la fièvre : un seul cas a été constaté dans une habitation du jardin modèle."⁶ Sa conclusion est pour le moins laconique :

"si le service municipal contribue en quelque mesure à l'insalubrité de la plaine de Gennevilliers, c'est parce qu'il ajoute une cause d'exhaussement de la nappe souterraine à celles qui

¹. *Ibid.*, p. 85.

². DELESSE, *Carte hydrologique du département de la Seine*, *op. cit.*

³. "Rapport de la commission", *op. cit.*, pp. 49-51.

⁴. *Ibid.*, p. 61.

⁵. *Ibid.*, p. 48.

⁶. *Ibid.*, p. 62.

existent d'ores et déjà [...]. Il doit supprimer cette cause et, pour cela, évacuer par un drainage l'eau qu'il verse à la surface de la plaine. Mais, cela fait, son devoir est rempli."¹

Bergeron va plus loin et ajoute :

"Léon Collin, professeur au Val-de-Grâce, qui a écrit un excellent livre sur les fièvres intermittentes, attribue l'insalubrité des marais «à la puissance productrice du sol lorsque cette «puissance n'est pas mise en action, quand elle n'est pas épuisée par une quantité suffisante de «végétaux.»

"La culture est donc le meilleur moyen d'assainir les terres insalubres."²

A l'appui de ces raisonnements, on cite le cas des villes étrangères, où la construction des égouts a considérablement abaissé la mortalité par la fièvre typhoïde³ et les maladies *zymotiques* en général (tableau 42), ce qui ne répond en rien aux problèmes d'insalubrité locale des champs d'épandage. D'ailleurs, ceux-là mêmes qui dénoncent les fosses d'aisances et la corruption du sol de Paris préconisent l'irrigation⁴.

¹. *Ibid.*, p. 64.

². BERGERON, "Enquête sur l'origine des fièvres paludéennes observées à Gennevilliers pendant les années 1874 et 1875 et attribuées par les habitants aux irrigations faites dans la presqu'île avec les eaux d'égout de Paris", in : PREFECTURE de la SEINE, *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*, t. 2, *op. cit.*, p. 68.

³. A Bristol, elle passe de 1‰ à 0,65 ‰, à Leicester de 1,5 ‰ à 0,8 ‰ ; à Hambourg, sur 1 000 décès, 48,5 sont dus à la typhoïde avant la canalisation (1838-1844) et seulement 16,8 après (1862-1880). Intervention d'A. J. MARTIN, in : "Rapport sur l'évacuation des vidanges par la voie publique (...), *op. cit.*, pp. 96-97.

⁴. DURAND-CLAYE, *Assainissement de Paris - Commission ministérielle, ministère de l'agriculture et du commerce - Observations des ingénieurs du service municipal de Paris au sujet des projets de rapport présentés par MM. Girard et Brouardel*, [extrait des *Annales industrielles*, 24 juil., 31 juil., 21 août, 4 sept. 1881], Saint-Germain, s. d., pp. 10-11 ; "Rapport sur les systèmes d'évacuation et d'utilisation des vidanges à Paris, fait au nom d'une commission composée de MM. le dr Bourneville, Durand-Claye, Duverdy, le Dr H. Gueneau de Mussy, Hudelo, Koechlin-Schwartz, le Dr Lamouroux, le dr Napias, le Dr E. R. Perrin, le dr Proust, E. Trélat, le dr Vallin, le Dr Vidal", in : *De l'évacuation des vidanges dans la ville de Paris*, rapports extraits de la *Revue d'hygiène et de police sanitaire* (1880-1881-1882), Paris, s. d., p. 5.

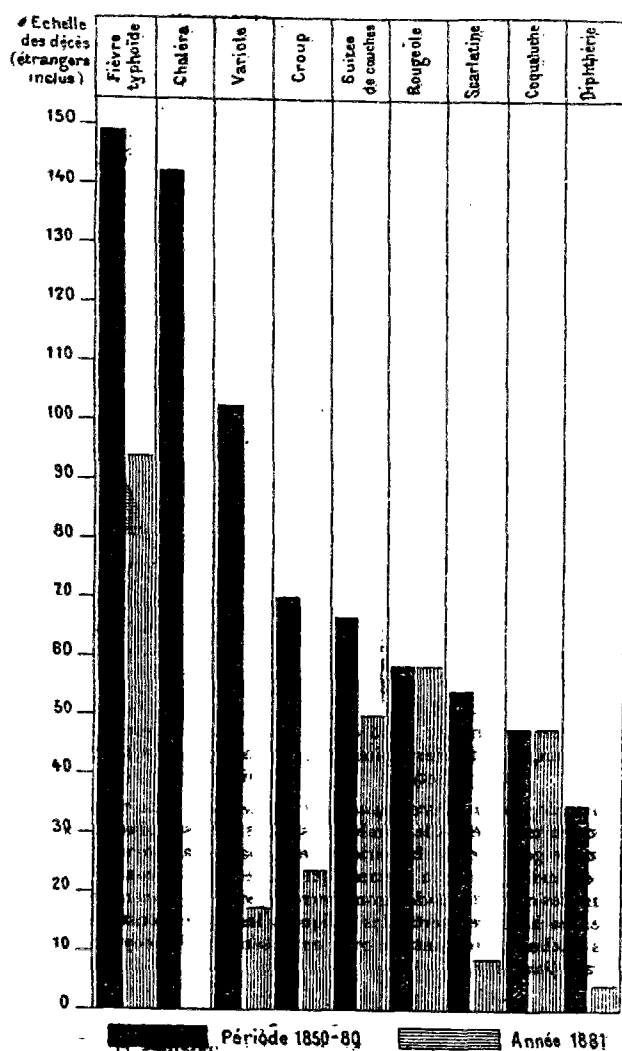


Tableau 42. Décès causés par les maladies zymotiques à Bruxelles, parallèle entre l'année 1881 et la moyenne annuelle des trente années 1850-1880.

Source : Intervention d'A. J. MARTIN, in : "Rapport sur l'évacuation des vidanges par la voie publique (...)", in : *De l'évacuation des vidanges dans la ville de Paris*, Paris, s. d., p. 99.

Pourtant Pasteur est passé par là. Il se prononcera d'ailleurs en 1880 contre l'épandage, considéré comme "un grand danger [...] ; il y aura des milliers de germes qui s'accumuleront sans cesse et qui pourront être la cause des maladies les plus graves"¹, ajoutant :

"qu'une notion nouvelle apparaît, c'est que les germes du charbon et de la septicémie ne disparaissent pas avec les opérations ordinaires de la culture. Il s'agit d'ailleurs ici des parties solides, car si l'eau est épurée, ces matières restent à la surface, et M. Pasteur ne saurait songer, sans effroi, à la quantité innombrable de germes qui seront déposés, quand la science a aujourd'hui

¹. Procès-verbal de la séance de la Société nationale d'agriculture de France du 1er déc. 1880, cité par DUVERDY, *op. cit.*, p. 12.

reconnu que ces germes ne sont pas détruits et conservent au contraire leur vitalité pendant douze ans au moins."¹

Marié-Davy lui répond indirectement : "Non seulement la terre humide garde tous ses microgermes, mais elle prend même aux gaz qui la traversent ceux qu'ils pourraient contenir"², comme le prouve l'analyse des eaux après filtration (tableau 43).

Tableau 43. Microgermes contenus dans différentes eaux (1880).

Nombre microgermes/cm ³ d'eau	moyenne année 1879	prélèvement du 6 juil. 1880
Eau de condensation de la vapeur de l'air	0,2	"
Eau de pluie, recueillie à Montsouris	35,0	"
Eau de la Vanne à la bouche d'arrivée à Montrouge	62,0	"
Eau de la Seine, rive gauche, en face du jardin d'Asnières	"	3 200,0
Eau du drain d'Asnières	"	12,0
Eau d'égout, collecteur du bd Sébastopol	20 000,0	"

D'après : H. MARIÉ-DAVY, *Epuration des eaux d'égouts par le sol de Gennevilliers*, extrait du *Journal d'hygiène*, n° 202, Paris, 1880, p. 5.

Mais d'une façon générale, les médecins sont plus sceptiques — malgré les justifications de Bergeron. "Nous manifestons notre étonnement et nos regrets que le Conseil d'hygiène et de salubrité n'ait pas montré en 1869, en 1872 et en 1873, un plus grand souci de l'hygiène publique. A Londres, où les mêmes expériences se faisaient en même temps qu'à Paris, les médecins ont eu, d'emblée, voix au chapitre, et on n'a eu qu'à s'en louer"³, soulignent Danet, Bastin et Garrigou-Désarènes, qui ne s'opposent d'ailleurs pas complètement au projet de la ville de Paris : s'ils préféreraient la solution du canal à la mer⁴, ils estiment que l'irrigation est possible si elle ne dépasse pas 10 000 m³ par hectare et par an⁵. Convaincus du rôle des infiniment petits, ils effectuent

¹. *Ibid*, loc. cit.

². MARIÉ-DAVY, *op. cit.*, p. 8.

³. "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers (...)", *op. cit.*, p. 78. Une plus large place sera faite aux médecins dans les commissions ultérieures. MAUGUEN, *op. cit.*, p. 200.

⁴. "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers (...)", *op. cit.*, p. 104.

⁵. "Procès-verbaux des séances de la commission (...)", *op. cit.*, p. 154.

des prélèvements dans les puits de Gennevilliers, dont l'eau à toujours un goût désagréable¹, et, pire encore :

"le microscope nous a fait découvrir une quantité innombrable de corpuscules de Palmellées et d'Oscillaria viridis, algues qui ne vivent que dans les eaux de mauvaise qualité, ainsi que les *Baggiatoa* et l'*Oscillaria natans*, dont l'existence ne se révèle que dans des eaux encore plus fortement chargées de matières en décomposition [...].

"Dans certains puisards même, nous avons rencontré à la fois des bactéries et des vibrions, c'est-à-dire les microzoaires qu'on trouve au début et à la fin des fermentations putrides."²

La faune et la flore des vapeurs recueillies sur les champs irrigués ne sont pas moins abondantes : "des bactéries et des vibrions de toutes formes dont la présence indique qu'il y a encore dans ces liquides des matières en travail de décomposition"³, des Oscillaria, des algues Palmellées, etc. Or, le médecin américain Salisbury "trouve partout où se déclare la fièvre paludéenne les cellules d'algues microscopiques appartenant au genre Palmella."⁴ Il est vrai qu'en 1878, le vecteur du paludisme n'est pas encore identifié : on s'approche de l'anophèle sans l'attraper, et plusieurs théories cohabitent encore : *théorie des forces* — pour Michel Lévy qui incrimine des réactions catalytiques dues au mélange des eaux douces et des eaux salées, pour Lembron c'est une force électro-chimique qui agit comme les émanations de certains métaux, pour Collin il existe un principe pyrétogène *tellurique*, pour Villermé les effluves de l'argile sont responsables, pour Burdel les rayons solaires développent une force électro-chimique —, *théorie des miasmes non figurés* — un gaz spécifique —, *théorie des miasmes figurés* enfin⁵, la plus proche du but. Finalement, Danet, Bastin et Garrigou-Désarènes ne peuvent que conclure que "La plaine de Gennevilliers [qui] n'est plus, pour ainsi dire, qu'un vaste marais artificiel"⁶.

De là une série de dissensions parmi les membres de la commission. Lagneau, seul représentant du corps médical, émet des doutes quant aux conclusions de Bergeron dès la

1. "Des résultats de l'irrigation de la plaine de Gennevilliers (...)", *op. cit.*, p. 83.

2. *Ibid.*, p. 85.

3. *Ibid.*, p. 92.

4. *Ibid.*, p. 88.

5. *Ibid.*, pp. 87-88.

6. *Ibid.*, p. 85.

séance du 8 juillet 1876¹. Mais le président, H. Bouley, veut le battre sur son propre terrain, celui de la médecine :

"D'après ce que l'on sait de plus probable, l'action du soleil sur les dépôts vaseux semble être une des causes de l'infection paludéenne. Or, en admettant même, comme semblent le démontrer quelques rapports médicaux, que les cas se soient développés dans les habitations dont les caves étaient noyées, je ne vois là, dans cette eau froide montant lentement du sol, qui ne dépose aucune vase et qui n'est jamais exposée au soleil, aucun des caractères qui permettent d'affirmer que la cause des fièvres intermittente soit l'inondation des caves."²

Lors de la séance suivante, Lagneau lit une note qui résume ses craintes ; le nombre de cas de fièvre, bien que peu graves, se monte à 85 au 30 juillet 1876³, c'est que les volumes d'eaux usées mis en jeu sont trop importants, d'où stagnation et putréfaction. Une vive discussion s'engage : tous s'opposent aux conclusions du trublion. Le rapporteur, Orsat, y met un terme : certes, le mémoire de Lagneau doit être publié *in extenso*, "mais, à côté de cela, la Commission a le droit et le devoir de rejeter une opinion qui n'est pas celle de la majorité, et je crois qu'au travail consciencieux de M. le docteur Lagneau il faut opposer, pour appuyer les conclusions que la majorité approuve, un autre rapport qui doit réfuter entièrement les opinions qui nous choquent."⁴ Le président se voit confier cette tâche et lit ses conclusions le 19 août : "les fièvres intermittentes de la plaine de Gennevilliers doivent être attribuées à ses eaux stagnantes et croupissantes et non pas à ses eaux d'irrigation, qui sont incessamment en mouvement."⁵ On constate que de dysenterie il n'est plus jamais question, et l'on retrouve cette vieille idée selon laquelle le mouvement est garant de salubrité, idée si souvent utilisée avant le Second Empire pour attester de la qualité des eaux de la Seine et de l'innocuité des puits d'absorption. L'infection du fleuve est, en 1876, un fait avéré et reconnu — elle est même à l'origine des irrigations — ; le mouvement n'en a pas pour autant perdu ses vertus purificatrices.

Mauguen a voulu montrer que les découvertes pastoriennes avaient freiné la mise en place d'une technologie de la salubrité et de l'assainissement⁶ : il prend de ce fait parti

¹. "Procès-verbaux des séances de la commission (...), *op. cit.*, p. 193.

². *Ibid.*, *loc. cit.*

³. *Ibid.*, p. 215.

⁴. *Ibid.*, p. 228.

⁵. *Ibid.*, p. 233.

⁶. MAUGUEN, *op. cit.*, p. 15 *sq.*

pour les ingénieurs, qui n'ont que faire du miasme ou de sa forme moderne, le microgerme, surtout lorsqu'ils travaillent pour la ville de Paris. Il est peut-être vrai que l'idéologie pastorienne de l'éradication complète du germe conduit à des solutions difficilement applicables. Mais ce que nous voyons à Gennevilliers, c'est la persistance de la même crainte — souvent justifiée —, héritée du XVIII^e siècle, crainte du marais, du sol en putréfaction — pour Dromel, la presqu'île est "un vaste atelier de décompositions malsaines, sous la chaleur de la radiation solaire"¹. Nous rejoignons ici Jacques Léonard :

"Dans tout contagionniste, sommeille un partisan éventuel de la «panspermie», de la «pathologie animée», des «zymases», bref, de quelque mot savant qu'on la décore, de la vieille théorie des germes [...]. Les convergences avec des comportements anciens se profilent : combien de vitalistes ont soutenu, sans pouvoir les montrer, le rôle pathogène des virus ou des miasmes [...] ? [...] Toute l'histoire de l'hygiénisme semble appeler implicitement des grilles de lecture prépasteuriennes."².

C'est que les marais naturels, les cloaques urbains, ont été remplacés par l'insalubrité péri-urbaine. En effet, Gennevilliers n'est pas seule touchée : à Bondy la situation n'est pas meilleure. Depuis sa création, la voirie suscite bien entendu des plaintes, que l'on retrouve dans les délibérations du conseil municipal ; le 11 novembre 1860, la commune de Livry demande sa suppression,

"motivée sur ce que malgré les nombreuses réclamations du conseil municipal et malgré les démarches faites auprès de l'autorité compétente, il n'a pas été possible d'obtenir l'exécution des règlements de Police qui prescrivent la désinfection des matières insalubres déposées à la voirie et sur ce que les émanations provenant de ces matières, causent aux communes environnantes, un préjudice considérable, en éloignant la population aisée."³

S'ensuit une longue description des émanations de la voirie, au cours de laquelle on apprend que "l'immense accumulation des matières putrides dans la voirie a aussi le très grave inconvénient de donner naissance, pendant les grandes chaleurs de l'été et surtout de l'automne, à une incroyable quantité de grosses mouches, dont la piqûre peut n'être

¹. DROMEL, *op. cit.*, p. 24.

². LEONARD, "Comment peut-on être pasteurien ?", in : SALOMON-BAYET (ed.), *op. cit.*, p. 149.

³. "Lettre du 28 mars 1861 au sujet d'une délibération de la commune de Livry, le 11 novembre 1860", Archives de la Seine, DQ¹⁰1693, dossier 1702.

pas sans danger."¹ L'affaire est classée sans suite. Puis l'on évoque le dépérissement des arbres de la forêt de Bondy, atteints d'une maladie inconnue depuis 1859². Le chimiste Chevallier analyse les écorces et conclut à l'influence de l'air vicié³. Une nouvelle expertise est faite qui atteste des dégradations : "lorsqu'en parcourant la voirie, on jette les yeux sur les bois qui l'entourent des trois côtés, on remarque un assez grand nombre d'arbres morts ou dépérissants [...] cette destruction n'est point toutefois un phénomène général"⁴. Les sondages ne donnent rien : "à 2,75 m de profondeur on a trouvé de l'eau bien claire et bonne à boire ; cette eau vient dans le sable et le tuf glaiseux"⁵ ; même conclusion à 4 mètres de profondeur. D'ailleurs, "C'est [...] sur la lisière Ouest Nord, c'est-à-dire du côté opposé à la direction des vents régnants, et dans la partie la plus éloignée de l'usine, autour de la voirie, que les arbres morts ou dépérissants se rencontrent principalement."⁶ Les experts en déduisent que la nature du sol, pauvre, et le manque d'entretien du bois sont en cause, ce dont se défend bien entendu le propriétaire dudit bois⁷.

Mais ce n'est encore rien. En 1869-70, une épidémie de variole frappe Paris. Dorré accuse la voirie de Bondy d'en être responsable, ou au moins de son aggravation. C'est qu'on est loin de l'infection crainte mais localisée des fosses d'aisances :

"Une nappe souterraine, s'élevant et s'abaissant, suivant les saisons, pénètre dans les bassins, puis disparaît ; elle entraîne avec elle toutes les matières animales qui se présentent dans son champ d'action ; cette nappe d'eau transporte quelque part, hors de la voirie, les germes et les miasmes de toute nature qu'y ont déposé chaque année les 60,000 morts et les 500,000 malades de Paris ; et on laisse une de nos rivières d'alimentation venir à nous après avoir cotoyé les bassins meurtriers dont elle n'est séparée que par un rempart de terre glaise criblé de fissures !" ⁸

¹. *Ibid.*

². GOURGUE, *Consultation sur les causes de l'altération des arbres de la forêt de Bondy*, Paris, 1869, p. 2.

³. *Ibid.*, p. 3.

⁴. V. BOIS, SERVAL, "Procès-verbal d'expertise pour M. le Comte de Gourgue contre Mrs Richer et Cie (aujourd'hui Lesage et Cie) et Mrs Jacquemart et Figueira", 30 avr. 1869. Archives de la Seine, DQ¹⁰1693, dossier 1702.

⁵. *Ibid.*

⁶. *Ibid.*

⁷. GOURGUE, *op. cit.*, p. 3.

⁸. L. DORRÉ, *L'infection de Paris et de la banlieue : la fièvre typhoïde et la voirie de Bondy*, s. l., oct. 1883, p. 14.

Durant l'hiver 1869-1870, l'épidémie de variole touche principalement les arrondissements du nord, du nord-est et de l'est parisiens (tableau 44), "malgré l'apparence de conditions hygiéniques favorables"¹, et alors que les vents de nord-est sont dominants.

Tableau 44. Mortalité variolique de l'hiver 1869-1870 à Paris.
(nombre de décès d pour 10 000 habitants)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
≤10	*	*	*		*											*				
10<d≤12,5				*		*		*	*						*					
12,5<d<15							*						*							
≥15										*	*	*		*			*	*	*	*

D'après : L. DORRÉ, *L'infection de Paris et de la banlieue : la fièvre typhoïde et la voirie de Bondy*, s. 1., oct. 1883, p. 22.

La ville de Paris récuse l'argumentation de Dorré : le rapport d'Huet, ingénieur de la division des eaux et canaux souligne que "l'épidémie variolique a marché de l'ouest sur Paris & paraît se diriger vers le nord"², elle ne peut donc être issue de Bondy ; en outre, si on reconnaît que "les déjections des cholériques renferment le principe de l'épidémie & que l'air imprégné des gaz de ces déjections est par excellence le propagateur de la maladie ; [...] il peut en être tout autrement en ce qui concerne la variole"³. Enfin, le choléra n'a touché que quatre personnes sur les quatre à cinq cents ouvriers ayant travaillé à la voirie, et l'on n'y a déploré aucun cas de variole. L'ingénieur en chef approuve ces conclusions, mais n'omet de signaler que "malgré tout cependant, la suppression de la voirie est décidée"⁴, traduisant l'embarras de la capitale. En 1870, Dorré s'était contenté d'écrire une lettre ouverte publiée par les journaux⁵. Il revient à la charge au début des années 1880, comme secrétaire du Comité de résistance à la voirie de Bondy ; il traduit

¹. *Ibid.*, p. 22.

². VILLE de PARIS - Service municipal des eaux et des égouts, "Rapport de l'ingénieur ordinaire sur l'influence de l'épidémie variolique", signé HUET, 28 juin 1870. Archives de la Seine, VO³441.

³. *Ibid.*

⁴. *Ibid.*

⁵. *Ibid.*

l'influence délétère de la voirie de Bondy par une carte de la mortalité typhique à Paris qui ne peut laisser indifférent (figure 57). Il se prononce donc en faveur du tout-à-l'égout — "il n'est pas difficile de prévoir que c'est là le système de l'avenir"¹ — et de l'épandage.

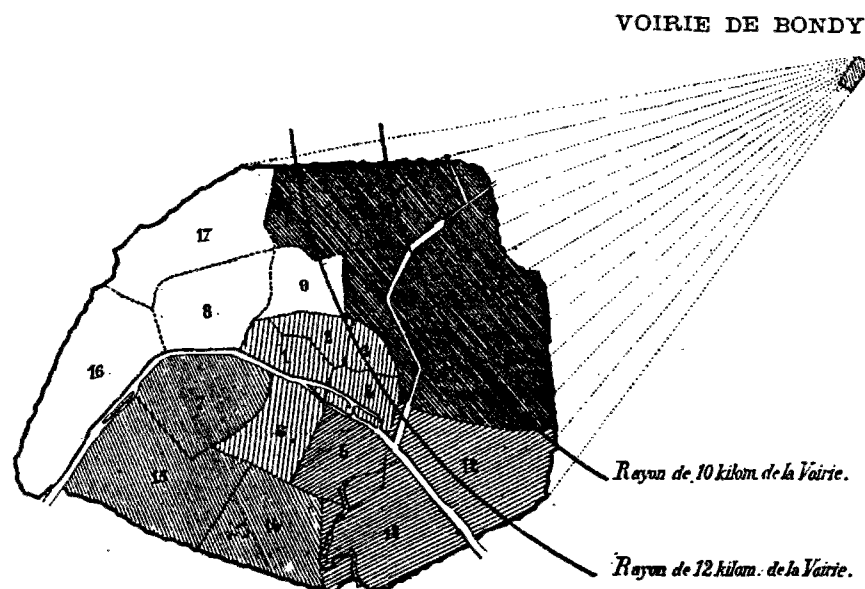


Figure 57. La fièvre typhoïde et la voirie de Bondy, décès typhiques à Paris en 1882.

Dans la zone la plus touchée (nord-est) on compte 16,17 décès pour 10 000 habitants, contre 12,21 dans la partie nord-ouest, la moins affectée.

Source : L. DORRÉ, *L'infection de Paris et de la banlieue : la fièvre typhoïde et la voirie de Bondy*, s. l., oct. 1883, p. 25.

Enfin, dans les années 1879-1880, c'est le paludisme qui alerte. La forêt de Bondy — dans laquelle on cherche des trésors en espèces sonnantes et trébuchantes², à défaut de rentabiliser les vidanges — a en effet été peu à peu transformée en marécage, pour des raisons extérieures à la voirie il est vrai. Les habitants accusent l'état d'avoir morcelé le terrain afin de le vendre, d'où le "défaut d'écoulement des eaux et l'état marécageux de la forêt"³ et une pétition est envoyée au Président de la république le 30 septembre 1878⁴.

¹. DORRÉ, *op. cit.*, p. 28.

². Archives de la Seine, DQ¹⁰1693, dossier 1702.

³. Lettre du Conseiller d'état Directeur des routes et de la navigation, au Préfet de la Seine, 4 mars 1880. Archives de la Seine, D3S⁸14.

⁴. Archives de la Seine, D3S⁸14.

Les préfectures de Seine et de Seine-et-Oise sont chargées d'étudier les causes de cette insalubrité et concluent que "le régime des eaux avait été profondément modifié par la construction du canal de l'Ourcq"¹ et le morcellement des terrains — imputable aux seuls actuels propriétaires —, dans un site qui "a toujours été insalubre. Cet état provient de la nature glaiseuse du sous-sol, du peu de pente de la surface, et de l'existence de nombreuses dépressions provenant d'anciennes exploitations"² de marne. L'inquiétude des habitants est justifiée : en mai 1878, le médecin Thomas ne compte pas moins de 80 cas de paludisme dans la forêt (600 habitants) et constate de mai à octobre une morbidité pour le moins anormale (40 %)³. Il peut paraître très curieux qu'il ne soit jamais fait allusion à la voirie parmi les facteurs d'insalubrité. C'est qu'elle est protégée : quand la commission du département de Seine-et-Oise demande à visiter Bondy — "afin qu'elle puisse se livrer utilement, sur place, à l'étude des moyens qu'il pourrait lui paraître nécessaire d'indiquer pour mettre un terme aux inconvénients signalés"⁴ —, Durand-Claye répond qu'il est fort peu souhaitable que des personnes, dont il ne sait ni le nom ni la qualité, aient accès à la voirie qui est de toute façon sur le point de disparaître⁵.

Par la suite, les pouvoirs publics incitent, avec bien des difficultés, les propriétaires de la forêt à créer un syndicat afin d'exécuter les travaux d'assainissement nécessaires. C'est avec une prudence extrême que l'on cherchera à y faire entrer la ville de Paris :

"il est de notoriété publique que les employés et habitants de la voirie ont été, à plusieurs reprises, atteints de la fièvre paludéenne [...]. Il nous semble que la Ville de Paris ne peut se refuser à coopérer à une mesure essentiellement humanitaire [...] en faisant cette proposition, nous n'entendons en aucune façon, demander à la Ville de Paris des travaux d'assainissement particulier sur son fond ni lier la question d'insalubrité spéciale de la voirie de Bondy, résultant de ses usines, de ses dépôts d'eaux vannes et de matières fécales, à la question d'infection paludéenne résultant de l'état marécageux de la forêt. Non, car nous regardons ces deux questions comme distinctes l'une de l'autre."⁶

1. Lettre du Conseiller d'état, *op. cit.*

2. *Ibid.*

3. "Procès-verbal de la réunion tenue à la mairie de Bondy le 27 février 1879". Archives de la Seine, D3S⁸14.

4. Lettre du Préfet de Seine-et-Oise au Préfet de la Seine, 29 déc. 1879. Archives de la Seine, D3S⁸14.

5. VILLE de PARIS - Service municipal des eaux et des égouts, "Rapport de l'ingénieur ordinaire sur l'assainissement de la forêt de Bondy", signé A. DURAND-CLAYE, 6 janv. 1880. Archives de la Seine, D3S⁸14.

6. ASSOCIATION SYNDICALE DE LA FORÊT DE BONDY, "Modifications apportées au périmètre des terrains intéressés par la commission locale", 13 févr. 1881. Archives de la Seine, D3S⁸14.

Conviction profonde, ou leçon bien apprise ? Au début de notre siècle, le sous-sol peu profond de la région était pourtant infecté, qu'il s'agisse de la nappe moyenne :

"dans toute la région centrale du bassin de Paris, la nappe des sables de Beauchamp est gravement contaminée par le mélange de déchets de la digestion humaine. [...] les bactéries totales, les matières organiques et l'azote nitrique dissous y sont très abondants. [...] Bien qu'elle soit communément en usage dans les nombreux jardins marais de la région [...], il peut être considéré comme douteux que cette eau soit tout à fait sans danger pour la santé publique du fait de l'arrosage superficiel des légumes à manger crus"¹,

ou de la nappe superficielle dont la "contamination dure encore, du fait de la dissolution et de la décomposition qui s'opère au sein des matières existant encore au fond des anciens bassins de décantation des vidanges. [...] [elle] se traduit par un très grand excès de matières organiques, de nitrates, chlorures et de bactéries quelconques."² La voirie de l'est³ a en effet été fermée en 1900 et l'on songe à y installer un asile d'aliénés, les anciens bassins étant convertis en champ d'épandage pour les eaux usées de l'établissement qui subviendrait ainsi en partie à ses besoins alimentaires. L'ingénieur agronome Paul Vincey, auteur de ce rapport sur le sous-sol de la voirie, généralement partisan de l'épandage⁴, est ici défavorable. Il développera la notion de *géohydrologie sanitaire*⁵, reprise plus tard par le géologue Robert Soyer⁶.

Enfin, nous voyons là ce qui s'est déjà produit dans la première moitié du XIX^e siècle relativement au sous-sol : le sol est devenu un filtre. La pédologie nous a enseigné

¹. "Etude de Monsieur Paul Vincey, professeur départemental d'agriculture, ingénieur agronome, sur la géohydrologie sanitaire des terrains de l'ancienne voirie de Bondy", 26 janv. 1909. Archives de la Seine, D3S⁸14.

². *Ibid.*

³. Elle est rebaptisée en 1890, à la demande de la ville de Bondy qui pâtit de sa précédente appellation ; c'est tout ce qu'elle est arrivée à obtenir, malgré les fréquentes demandes de suppression et la démission du conseil municipal (immédiatement réélu) en 1882. M. BAURIT, *Bondy et sa forêt*, Paris, 1962, p. 76.

⁴. VINCEY, *Les gadoues de Paris et l'agriculture du département de la Seine*, extrait des *Mémoires de la Société nationale d'agriculture française*, t. CXXXVIII, Paris, 1896.

⁵. VINCEY, *Géohydrologie sanitaire de la région centrale du bassin parisien. I : la fièvre typhoïde à Paris et en banlieue*, Paris, 1910.

⁶. R. SOYER, "Le rôle des sciences géologiques en technique sanitaire", *Annales du centre d'études et de documentation paléontologiques* (7), 1954, pp. 1-35.

que le sol est le résultat d'un long et sourd processus d'édification d'une structure, bien plus importante que sa texture, que seule les ingénieurs analysent. La terre est maintenant inerte et inerte seulement. Si l'on évoque sa pollution, c'est toujours par crainte qu'elle ne contamine les eaux et les airs, alors que son comportement n'est aujourd'hui étudié par les biologistes et les chimistes que pour mettre en avant son pouvoir épurateur.

CHAPITRE IV : URBANISME

(XXE SIECLE)

Cette fois-ci nous sommes près du but. Nous avons quitté la mécanique des sols à la fin de la Monarchie de Juillet, l'hygiénisme avec la révolution pastorienne.

En ce qui concerne la première, ce choix est justifié par le fait que les recherches ultérieures se sont faites soit hors la ville, soit hors la France, et pour la plupart au début de notre siècle¹. Elle ne touchent plus la ville que pour les fondations profondes telles qu'on les réalise à l'heure actuelle (ne serait-ce que pour réaliser des niveaux enterrés en raison de la pression foncière), qui ne diffèrent pas de celles qu'on pourrait réaliser en rase campagne, sauf par les phénomènes qu'elles induisent, mais nous les avons déjà évoqués en débutant ce travail. Par ailleurs, les conjectures sur la théorie de Coulomb n'ont toujours pas abouti et, comme le remarque Jacques Heyman, elles relèvent des mathématiques appliquées et non plus de la mécanique des sols en tant que telle². Rankine (1857) — qui assimile une nouvelle fois l'angle de frottement interne à celui du talus naturel des terres³ —, Levy, Considère (1870), Boussinesq (1876), Caquot (1934) — qui résout les équations de Boussinesq —, Sokolovskii (1956), on donné les derniers développements de cette branche de la mécanique des sols⁴.

Nous abandonnons aussi l'hygiénisme et l'assainissement : les eaux sales sont complètement séparées des terres — au moins en théorie — dès que les stations d'épuration remplacent les champs d'épandage⁵. Leur développement n'est pas de notre ressort, et les villes qui n'en sont pas dotées rejettent généralement dans les rivières leurs eaux usées : tout ceci est annuellement inscrit dans les publications du ministère de

¹. Sur ce thème, on pourra consulter : HEYMAN, *op. cit.*, p. 148 *sq.* ; K. von TERZAGHI, "Origin and function of soil mechanics", *A.S.C.E. Transactions*, vol. CT, 1953, pp. 666-696 ; KERISEL, *op. cit.*, pp. 505-531.

². HEYMAN, *op. cit.*, pp. 160-161.

³. TERZAGHI, *op. cit.*, p. 671.

⁴. HEYMAN, *op. cit.*, pp. 149-155.

⁵. Dès l'Entre-deux-guerres on expérimente les procédés d'épuration par boues activées et lits bactériens. La première tranche de la station d'épuration d'Achères est mise en service en 1940. Elle traite encore aujourd'hui la majeure partie des eaux usées de Paris et des départements de la première couronne. D. MERAUD, "L'assainissement de l'agglomération parisienne", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, pp. 173-180.

l'Environnement¹ et des Agences de l'Eau (ex-Agences Financières de Bassin). Il faudrait néanmoins évoquer les fosses septiques, qui nous rappelleraient les fosses d'aisances : en effet, on a montré que les infiltrations de ces cuves mal étanchées étaient responsables de 43 % des maladies hydriques observées aux Etats Unis pendant la période 1971-1979², et dépassaient 65 % dans certaines villes d'Afrique Noire.

Pourtant, de la ville boueuse de la Belle Epoque à la ville noire et sèche d'aujourd'hui, le milieu a changé. Mais l'apparente maîtrise de l'espace, codifiée en France par les Plans d'occupations des sols, les règlements de voirie et les prescriptions techniques, masque le chaos dont nous avons dit quelques mots dans la première partie de ce travail et que n'ont pas su analyser les urbanistes.

¹. En particulier dans *l'Etat de l'environnement*, publié chaque année par ce ministère. L'épandage est encore pratiqué dans des zones peu densément peuplées, et présente un risque notamment en raison des nitrates qu'il communique aux nappes : "Les considérations suivantes donnent une indication de l'importance de la pollution des eaux souterraines par les nitrates dont sont responsables les unités d'épandage : une densité de population de 100 habitants/ha représente un apport d'environ 500 kg N/ha/a au sol qui, s'ils sont oxydés et lixiviés par 100 mm/a d'eaux pluviales, entraînent localement une recharge de la nappe souterraine à un taux de 500 mg NO₃-N/l (2 200 mg NO₃/l)." S. S. D. FOSTER, "Potable groundwater supplies and low-cost sanitary engineering, how compatible?", *Natural resources forum* 9(2), 1985, p. 128.

². M. V. YATES, "Septic tank density and ground-water contamination.", *G.W.* 23(5), 1985, p. 587.

IV.1. UNE NOUVELLE DISCIPLINE

Paradoxalement, alors qu'apparaît une nouvelle discipline — l'urbanisme — la connaissance du milieu urbain s'appauvrit. Mais la simultanéité de ces deux mouvements — initiés au Second Empire —, n'est finalement pas si étonnante.

En effet, comme le remarque Françoise Choay, l'urbanisme "est sous ses deux formes, théorique et pratique, l'apanage de *spécialistes*"¹. Or, qu'il soit architecte comme le voudrait Le Corbusier², ingénieur ou géomètre, cet expert de la ville n'a pas de connaissances mésologiques ; les sciences naturelles, de la terre et de la vie, lui échappent. Si "la planification urbaine, depuis la fin du XIXe siècle [...] s'étend bien au-delà d'un dessin de surface, aux réseaux qui la sous-tendent, à l'équipement, au fonctionnement des services urbains et à l'affectation des espaces"³, seul l'inerte l'intéresse.

Certes, l'organicisme de nombre des urbanistes, la naissance d'une *écologie urbaine* dans les années 1920⁴, pourraient porter à croire que la mésologie telle que définie par Louis-Adolphe Bertillon⁵ a porté ses fruits. Mais dans l'un comme dans

¹. CHOAY, *L'urbanisme, utopies et réalités : une anthologie*, Paris : Ed. du Seuil, 1965, p. 30.

². Pour Le Corbusier, "l'urbaniste n'est pas autre chose qu'un architecte". Cité par CHOAY, *Ibid.*, *loc. cit.*

³. M. RONCAYOLO, "D'Hausmann à nos jours - 1. La croissance de la ville. Les schémas, les étapes", in : BERGERON (ed.), *op. cit.*, p. 220.

⁴. R. E. PARK, E. W. BURGESS, R. D. MAC KENZIE, *The city*, Chicago, 1925.

⁵. "En effet, pour que ce mouvement qui constitue la vie puisse naître ; pour que, étant né, il se puisse maintenir sans déviation, il faut que le corps vivant soit placé dans un milieu en harmonie avec sa constitution. La connaissance des conditions de ce milieu et des influences réciproques que chacun des deux termes exerce l'un sur l'autre, constitue un troisième point de vue, une troisième abstraction par rapport à laquelle devront être étudiées les diverses espèces de la série des êtres : c'est la science des milieux ou MÉSOLOGIE". L. A. BERTILLON, "Revue de biologie", *Presse scientifique des deux mondes, revue universelle du mouvement des sciences pures et appliquées*, vol. 1, 1860, p. 120, cité par G. H. MÜLLER, "Le terme «mésologie» comme nouvelle détermination de la science des rapports des êtres vivants avec leur milieu", in : P. LOUIS, J. ROGER (eds.), *Transfert de vocabulaire dans les sciences*, Paris : Ed. du C.N.R.S., 1988, p. 107.

Définition curieusement proche de celle du mot écologie, dont la paternité revient à Ernst Haeckel (*Generelle Morphologie der Organismen*, vol. 1, Berlin, 1866, p. 8). Les trois histoires de l'écologie que nous avons évoquées au chapitre I (§ I.1.2, a) ont oublié Bertillon, Drouin (*op. cit.*, p. 20) se contentant de signaler que le terme *mésologie* aurait pu concurrencer celui d'*écologie*. Il est paradoxal que ce dernier ait finalement dominé alors que tous s'accordent à dire que si Haeckel a inventé le mot, sa théorie ne relevait pas de cette discipline. Mais Bertillon était médecin et non biologiste ou botaniste, ce qui peut expliquer la non diffusion de sa terminologie. Par ailleurs, le concept de *mésologie* couvrirait bien plus que l'étude des relations entre le vivant et son milieu organique et inorganique, comme le

.../...

l'autre cas, il s'agit de raisonnements purement analogiques qui plaquent des concepts issus d'autres disciplines — la physiologie et l'écologie —, et non d'une tentative d'approche du milieu urbain comme le milieu intérieur de Claude Bernard¹ pour l'organicisme, comme le milieu extérieur pour l'école de Chicago².

En outre, s'il est vrai que les hygiénistes rassemblés au sein de l'Association des Hygiénistes et Techniciens Municipaux (A.G.H.T.M.) ont été très actifs dans la production urbaine du premier XX^e siècle³, force est de constater que ces hygiénistes-là sont rarement médecins. En 1917, sur quatre cent-six membres, l'A.G.H.T.M. ne compte que quarante-deux médecins, auxquels il faut ajouter six pharmaciens, et quinze chimistes ou bactériologues : soit 16 % de représentants des sciences de la vie⁴. L'examen thématique du contenu de la *Technique sanitaire et municipale*, organe de l'association, montre sur la période 1906-1913 la faiblesse des articles de fond : 2 % traitent de bactériologie ou de biologie, et sur sept cent-onze articles, un seul aborde l'épidémiologie⁵. L'hygiénisme relève de la technique ; or, celle-ci est alors fixée :

remarquent Müller (*op. cit.*, pp. 108-109) et Augustin Berque (*Médiance : des milieux aux paysages*, Montpellier : Reclus, 1990, pp. 29-30).

1. C. BERNARD, *op. cit.*, p. 274 sq.

2. Robert Ezra Park écrit : "L'écologie, dans la mesure où elle cherche à décrire la distribution effective des plantes et des animaux à la surface du globe, est sans doute, d'un certain point de vue, une science géographique. Pourtant, l'écologie humaine, dans le sens que les sociologues voudraient donner à ce terme, ne se confond pas avec la géographie, ni même avec la géographie humaine. Ce qui nous intéresse, c'est la communauté plus que l'homme, les rapports entre les hommes plus que leur rapport au sol sur lequel ils vivent." PARK, "La communauté urbaine : un modèle spatial et un ordre moral", réimpression [1^{ère} éd. 1926], in : *L'école de Chicago, naissance de l'écologie urbaine*, 2^e éd., [Paris] : Aubier, 1984, pp. 197-198. Il n'est pas de notre ressort de faire une critique de l'école de Chicago, dont les travaux ont par ailleurs été abondamment analysés. Voir par exemple : Y. GRAFMEYER, I. JOSEPH, "La ville-laboratoire et le milieu urbain", in : *L'école de Chicago (...)*, *op. cit.*, pp. 6-52 ; ACOT, *op. cit.*, chap. VII : "L'écologie humaine". Quant à nous, l'hypothèse qui nous paraît la plus choquante est celle qui assimile les groupes sociaux aux espèces animales qui, comme chacun sait, ne sont pas susceptibles de croisement ; par ailleurs, peut-on identifier la sociologie à l'éthologie ?

3. J. P. GAUDIN, *L'avenir en plan : technique et politique dans la prévision urbaine (1900-1930)*, Seyssel : Champ Vallon, 1985 ; CLAUDE, *L'A.G.H.T.M. : école et ou lobby (1905-1930)*, rapport de recherche pour le Plan Urbain, Saint-Denis : A.R.D.U., juil. 1987.

4. Les autres adhérents sont architectes, agents voyers ou géomètres (12 %), ingénieurs (41 %), professeurs (4 %), entrepreneurs et industriels (11 %), ou classés dans la rubrique "divers" (15 %). Il faut aussi noter la présence de six géologues. GAUDIN, *op. cit.*, p. 198.

5. *Ibid.*, p. 199.

assèchement du sol et évacuation de toutes les eaux. Elle ne subira que des modifications internes qui ont été analysées par Gabriel Dupuy¹.

On pourra aussi nous dire que dans la cité-jardin d'Howard, l'accent est mis sur le cadre de vie, que dans la théorie de Le Corbusier, le soleil, l'air, la verdure sont essentiels. Nous n'en disconvenons pas, mais ici seule la forme importe. En outre, nous ne nous étendrons pas sur les vitupérations de Le Corbusier qui ne s'intéresse qu'au biotope et très peu à la biocénose, et dont les présupposés climatologiques paraissent bien pauvres comparés aux topographies médicales du XVIII^e siècle.

La question du sol urbain serait-elle alors définitivement réglée et ou oubliée ? Ni l'un, ni l'autre. Eu égard aux nombreux problèmes que nous avons évoqués dans la première partie, on comprend qu'elle ne soit pas réglée ; considérant ce que nous avons exposé dans la seconde, on soupçonne qu'elle soit, avec le XX^e siècle, partiellement oubliée.

Partiellement, pour deux raisons. D'une part parce que, en ce premier XX^e siècle, et plus précisément dans l'Entre-deux-guerres, naît en France un courant de pensée urbanistique — curieusement oublié des historiens de l'urbanisme et de l'architecture² —, l'urbanisme souterrain. D'autre part, en raison de la présence dans la ville, depuis le XVII^e siècle au moins³, de ces observateurs aussi minutieux que les archéologues que sont les botanistes.

¹. DUPUY, *Urbanisme et technique : chronique d'un mariage de raison*, Paris : C.R.U., [1978], chap. 5 : "La technique dans la conception des réseaux d'assainissement urbain".

². F. Choay (*L'urbanisme (...)*, *op. cit.*, pp. 56, 315) en attribue, à juste titre, l'origine à Eugène Hénard, mais n'évoque pas ses prolongements ; Michel Ragon les a rapidement abordés dans son *Histoire mondiale de l'architecture moderne* (vol. 3, *Perspective et futurologie*, nouvelle éd. rev. et augm., Paris : Casterman, 1985) ; Pierre Merlin (*Les transports parisiens : étude de géographie économique et sociale*, Paris : Masson, 1967, pp. 437-438), puis Dominique Larroque ("Le réseau et le contexte : le cas des transports collectifs urbains (1880-1939)", in : *Paris et ses réseaux (...)*, *op. cit.*, pp. 328-330) rapportent brièvement les projets d'autoroutes souterraines des années 1930. La recherche actuelle sur l'urbanisme de l'Entre-deux-guerres est principalement consacrée aux heurs et malheurs des Plans d'embellissement ; voir par exemple : *Quels dess(e)ins pour les villes ? (...)*, Paris : Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, oct. 1992.

³. La première référence connue en la matière pour Paris remonte à 1635 et est due à J. Cornut, elle répertorie 505 plantes. J. P. LEBRUN, "Bibliographie botanique de la Région parisienne : distribution et écologie des plantes vasculaires (1635-1965)", *Cahiers des naturalistes* 25(3), 1969, p. 51. Plus diffusé est l'ouvrage de J. Pitton de Tournefort : *Histoire des plantes qui naissent aux environs de Paris (...)*, Paris, 1698.

De la botanique urbaine, nous ne dirons que quelques mots ; elle mériterait une thèse à elle seule. Mais il nous semble que, après les hygiénistes du XVIII^e siècle, les botanistes ont les premiers pris conscience de la spécificité du milieu urbain et de son évolution avec l'industrialisation¹. Discipline traditionaliste attachée à ses racines et à l'exploitation des sources les plus anciennes, la botanique sait les mettre en valeur : la fixation des méthodes de classification des plantes au XVIII^e siècle permet d'obtenir des séries statistiques homogènes, si nous pouvons nous exprimer ainsi.

Ainsi, William Nylander écrit, en 1866 :

"la plupart des Lichens semblent fuir les villes, et ceux qu'on y rencontre n'y arrivent souvent qu'à un développement incomplet, et à un état sorédifère tout à fait stérile. [...] à leur place on voit s'étaler des Cryptogames d'un ordre inférieur, comme les Protococcus, qui se plaisent surtout dans un air impur ou empoisonné de murs ou de maisons.

.....

"Le jardin du Luxembourg, sans doute à cause de sa situation plus favorable, en est moins dépourvu qu'aucune autre promenade de Paris. Comme les Lichens donnent, à leur manière, la mesure de la salubrité de l'air, et constituent (si l'on peut ainsi dire) une sorte d'*hygiomètre* très-sensible, j'ai cru utile de faire un relevé des espèces que j'ai notées dans cette promenade publique. Les marronniers de l'allée de l'Observatoire y sont surtout remarquables par les nombreux Lichens qui couvrent leurs écorces, et ce, en telle abondance, qu'il faut aller en dehors de la ville pour trouver quelque chose de semblable."²

Cette démarche est très voisine de celle qui consiste aujourd'hui à utiliser les Lichens comme indicateurs de pollution atmosphérique ; d'ailleurs trente ans plus tard Nylander constate que les trente-trois espèces qu'il avait dénombrées au Luxembourg ont toutes disparues à la suite de la construction de maisons dans les terrains vagues qui l'entouraient³. Dans la continuité de ces recherches, on trouve celles de M. Bouly de Lesdain, qui, à la suite de la lecture des travaux de Nylander, emploie à la fin des années

¹. Les climatologues y ont aussi leur part. D'après Alfred Fierro (*Histoire de la météorologie*, Paris : Denoël, 1991, p. 113), Emile Renou (1815-1902) est le "précurseur de la climatologie urbaine, Renou souligne l'importance des trépidations dans la capitale ainsi que l'altération de la transparence de l'air et suggère la création d'un observatoire hors de Paris. Une commission [...] décide la création d'un observatoire météorologique à Montsouris." (il se trouvait à l'Observatoire astronomique jusque là, son transfert ne s'est pas fait sans mal). Dès les années 1870, on constate que la ville a une température supérieure de un à deux degrés à celle de la campagne. E. RECLUS, *Les phénomènes terrestres : l'eau et les météores*, 3^e éd., Paris, 1879, p. 225.

². W. NYLANDER, "Les Lichens du jardin du Luxembourg", *B.S.B.F.* 13, 1866, p. 365.

³. NYLANDER, *Les lichens des environs de Paris*, Paris, 1896 (ouvrage non exhaustif d'après le compte rendu de lecture qui lui est consacré par l'Abbé Hue (*B.S.B.F.* 43, 1896, p. 628)).

1940 ses "loisirs à rechercher les Lichens, qui [peuvent] encore vivre dans l'air vicié d'une grande ville"¹.

De même, Paul Jovet, grande figure de la botanique française récemment décédée, s'est-il attaché à recenser la flore parisienne. Non celle des jardins entretenus et des bacs à fleurs — dont l'intérêt ethnographique est cependant indéniable et qui a une incidence sur l'autre — mais cette flore spontanée, rudérale, parfois naturalisée qui se développe dans les friches, les voies privées, sur les quais et les ballasts, entre les mailles des grilles d'arbres. Or, cette flore ne peut se développer que grâce à des conditions particulières de station. En 1940, Jovet en analyse les différents stades d'évolution² à partir de relevés faits dans des décombres enclos en signalant les conditions particulières qui les caractérisent : faible ensoleillement et faible ventilation (présence de bâtiments autour du site) conduisent à une "humidité relative du sol et de l'atmosphère inférieure"³. En 1945, il rend compte de la flore particulièrement riche, malgré le sarclage et le chlorate de soude⁴, de la partie aérienne de la ligne n° 2 du métropolitain parisien (entre les places du Combat et du Delta) :

"Sur toute la partie à l'air libre, les fines poussières organiques et minérales charriées par le vent et la pluie (toujours boueuse à Paris) se déposent sur les pierres anguleuses du ballast où les retiennent aussi la graisse et les particules ferrugineuses ; entraînées par la pluie, elles constituent dans les interstices un sol noir à texture fine, plus important dans les portions encaissées de la voie : à la base des parois de soutènement, dans l'intervalle entre parois et caniveaux de câbles, le dépôt épais, véritable terreau que couvrent les feuilles mortes, hébergent de nombreux platanes et ailantes déjà grands.

.....

"Ainsi le ballast, par son sous-sol peu profond favorable aux germinations, par son rôle protecteur des organes souterrains, se révèle comme un milieu très hospitalier."⁵

1. M. BOULY DE LESDAIN, *Ecologie (phanérogames-mousses-lichens) de quelques sites de Paris*, Paris, 1948, p. 5.

2. P. JOVET, "Evolution des groupements rudéraux parisiens", *B.S.B.F.* 87, 1940, pp. 305-312.

3. *Ibid.*, p. 306.

4. JOVET, "Végétation des lignes aériennes du chemin de fer métropolitain de Paris", *B.S.B.F.* 92, 1945, p. 92.

5. *Ibid.*, pp. 97, 104. Du même auteur on pourra aussi consulter : "Plantes rudérales, adventices et naturalisées de Paris et de sa banlieue", *B.S.B.F.* 87, 1940, pp. 286-299.

Mais la botanique est aussi une discipline d'abord difficile¹ et n'a que peu d'écho auprès des urbanistes.

Par ailleurs, le Paris de l'Entre-deux-guerres est confronté à des problèmes plus urgents. L'encombrement du sous-sol et les difficultés de gestion qui en résultent, qui inquiétaient déjà Emmery — qui les anticipait — et Belgrand — qui commençait à s'en ressentir — deviennent préoccupants, alors que la surface souffre de la congestion de la circulation.

A ce titre, on pourra nous reprocher de ne pas avoir évoqué la création du chemin de fer métropolitain à la fin du XIXe siècle. Or, il y a bel et bien une bataille du métropolitain, au même titre que celle du tout-à-l'égout, au cours de laquelle se sont opposés les partisans de la solution aérienne et ceux de la version souterraine. Mais la distinction dessus/dessous n'était pas à proprement parler au centre du débat et résultait d'un combat politico-économique dont l'analyse n'a pas sa place ici².

L'accueil de l'option souterraine par l'opinion publique est pour le moins mitigé : la vieille peur du purgatoire, amplifiée par celle bien réelle des accidents dont les mines donnent un impressionnant catalogue, n'incite pas l'homme de la rue à devenir un homme du tunnel.

Quant aux procédés de construction, rapportés en détail par Gerards³, il semble qu'ils n'aient rien de novateur : pour la construction de la ligne numéro un qui traverse Paris d'est en ouest et doit mener les parisiens à l'exposition universelle de 1900, on prévoit dans un premier temps d'utiliser le bouclier, mis au point par l'ingénieur britannique Brunel dans les années 1820 et utilisé alors avec succès lors du creusement du tunnel sous la Tamise, perfectionné par d'autres ingénieurs anglais et vulgarisé en France par Berlier à partir de 1887. Mais les travaux prennent du retard, suite à de multiples

¹. En 1866, toute la partie du texte de Nylander qui traite de la description des stations et des Lichens est rédigée en latin.

². Et qui a par ailleurs été fort bien étudiée. Voir : MERLIN, *op. cit.*, pp. 55-67 ; M. DAUMAS, C. FONTANON, "Bilan d'une politique de transports en commun dans la région parisienne : de l'ère des monopoles vers une prise en charge par les pouvoirs publics : l'échec d'une politique rationnelle d'extension urbaine (1855-1939)", in : *Transports et société*, Paris : Economica, 1980, pp. 387-400 ; A. COTTEREAU, "Genèse du réseau métropolitain parisien", in : *Les réseaux techniques urbains, histoire contemporaine*, actes du séminaire international de Paris, déc. 1983, pp. 308-317 ; LARROQUE, "Aspects économiques de la politique des transports en commun dans la région parisienne (1855-1939), *A.R.U.* (23-24), 1984, pp. 127-141.

³. GERARDS, *op. cit.*, liv. VI : "Les voies ferrées souterraines".

difficultés techniques ; en effet, selon l'ingénieur des Ponts et Chaussées Louis Biette, adjoint à l'ingénieur en chef du service technique du métropolitain :

"le bouclier se prête à l'exécution d'une souterrain dans un sol vierge, à travers des couches non disparates, ou encore lorsque le souterrain doit recevoir un revêtement robuste comme un tubage métallique ; il n'en est pas de même dans un terrain varié comme l'est le sous-sol parisien ; en de semblables terrains, on est souvent conduit à donner un surcroît de résistance aux maçonneries, soit en modifiant le profil extérieur, soit en en augmentant l'épaisseur ; de telle modifications ne sont guère compatibles avec l'emploi du bouclier."¹

On en revient donc aux traditionnelles galeries boisées. Lorsque celles-ci courent sous une rue perméable, une chape en ciment recouverte de bitume prévient les infiltrations, des drains vont perdre les eaux dans des puits absorbants². On consolide les carrières par des piliers de maçonnerie ou de béton ; on rabat les nappes à l'aide de pompes électriques ; on se garde des sables fluents. Place de la République, "la ligne a rencontré un ancien marais [...]. dans ce marais, comblé de plâtras, le sulfate de chaux réduit par la matière organique avait donné naissance à du soufre cristallisé dont on a trouvé des quantités très notables au cours du travail"³, ce qui n'est pas sans rappeler le soufre en rognon évoqué par Laborie, Cadet le Jeune et Parmentier en 1778⁴. Pour relier les Halles à la place Saint-Michel, on se résout à revêtir les souterrains de fonte, et à utiliser le bouclier, sauf pour la traversée des deux bras de la Seine où l'on a recours au caisson⁵. Tout ceci nous est déjà connu, bien que l'air comprimé et l'électricité aient remplacé la machine à vapeur. Quant au prix de revient, il est de 3,4 millions de francs par kilomètre pour les infrastructures, auxquels il faut ajouter 1,5 million au moins pour l'équipement de voies, soit près de cinq millions pour un kilomètre de voie double en exploitation⁶.

Mais le chemin de fer métropolitain ne fait qu'augmenter la complexité du sous-sol urbain : l'assise technique demeure imparfaite, sa gestion de plus en plus difficile. L'architecte Eugène Hénard va tirer la sonnette d'alarme :

¹. L. BIETTE, *Le métropolitain de Paris*, Paris, 1906, cité par GERARDS, *op. cit.*, pp. 586-587.

². GERARDS, *op. cit.*, p. 589.

³. *Ibid.*, p. 613.

⁴. Cf. *supra*, chap. I, p. 95.

⁵. *Ibid.*, pp. 616-619.

⁶. J. HERVIEU, *Le chemin de fer métropolitain municipal de Paris*, Paris, 1903, cité par GERARDS, *op. cit.*, p. 571.

"Au dessous de la chaussée, en pleine masse, on a construit un égout destiné tout d'abord à l'écoulement des eaux pluviales et ménagères, mais qu'on affecte à toute sorte de choses pour lesquelles il n'a pas été construit. On a commencé par y installer des conduites d'eau pure et d'eau de rivière ; puis on y a ajouté les tubes pour les dépêches pneumatiques, une canalisation pour l'air comprimé, et enfin l'écheveau, de plus en plus important et de plus en plus compliqué, des fils télégraphiques et téléphoniques. Cet égout trop encombré n'a pu recevoir les câbles distribuant la lumière électrique, et l'on a dû pratiquer des caniveaux sous les trottoirs pour y placer les conducteurs métalliques ; et cela, au voisinage des conduites de gaz placées plus profondément en terre. Toutes ces canalisations sont superposées, juxtaposées sans ordre et sans méthode. [...]

"Tous ces travaux ont les conséquences les plus fâcheuses pour la rue proprement dite ; les terres incessamment remuées perdent leur consistance ; il faut donc faire un pavage provisoire et attendre quelques semaines, que les terres se soient tassées, pour refaire un pavage définitif, à moins qu'une ligne complémentaire de métropolitain ne vienne tout bouleverser de fond en comble."¹

De plus, Hénard prévoit l'apparition prochaine de nombreux réseaux (nettoyage par le vide, pneumatique pour tout le courrier, air liquide, essence, eau de mer, air pur...), ce qui pose la question de leur implantation :

"Tout le mal vient de cette vieille idée traditionnelle que *«le sol de la rue doit être établi au niveau du sol naturel primitif»*. Or rien ne justifie cet errement. En effet, si l'on part de l'idée contraire que *«les trottoirs et la chaussée doivent être artificiellement établis à une hauteur suffisante pour laisser, en dessous, un espace capable de contenir tous les organes des services de voirie»*, les difficultés que nous avons signalées plus haut disparaîtront totalement."²

Aussi trouve-t-on, entre le sol naturel et la chaussée conçus par Hénard, une galerie technique — puisque c'est le nom que ce dispositif porte aujourd'hui — et une rue de service (figure 58) où l'on "poserait quatre voies ferrées, de un mètre d'écartement, sur lesquelles circuleraient des trains de wagonnets enlevant les ordures et les déchets, au fur et à mesure de leur production, amenant les matériaux lourds et encombrants, et dégageant de leur gravois les chantiers de construction ou de réparation temporaire."³ L'égout, ainsi qu'un "large conduit réfractaire pour l'appel des fumées"⁴ prennent encore place dans le sol naturel.

1. E. HENARD, *Etudes sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme*, Réimpression [1ère éd. 1903-1910], Paris : L'équerre, 1982, p. 349.

2. *Ibid.*, p. 350.

3. *Ibid.*, p. 352.

4. *Ibid.*, loc. cit.

Mais Hénard va beaucoup plus loin, et c'est en cela qu'il peut être considéré comme l'initiateur de l'urbanisme souterrain :

"En généralisant cette disposition on est amené à concevoir une ville dont les rues à trafic intense auraient, proportionnellement à l'intensité de ce trafic, trois ou quatre plateformes superposées, la première pour les piétons et les voitures, la deuxième pour les tramways, la troisième pour les canalisations diverses et l'évacuation des déchets, la quatrième pour le transport des marchandises, etc. On aurait ainsi *la rue à étages multiples*, comme on a la maison à étages ; et le problème général de la circulation pourrait être résolu, quelle que soit l'intensité de celle-ci."¹(figure 58)

Les déblais issus du percement des voies souterraines seraient utilisés pour exhausser les zones dépourvues d'installations enterrées.

Hénard ne concrétisera pas ses projets — dont l'ampleur s'étend au-delà de la simple réalisation de voies de circulation souterraines — ; il aura néanmoins de nombreux fils spirituels, comme l'a remarqué Jean-Louis Cohen², mais aucun n'a repris de manière aussi complète ses visions souterraines.

Cependant, Paris se congestionne³ et dès 1924, on envisage la solution souterraine pour écouler le trop plein de circulation. Emile Massard propose un tracé général en 1928, suivi par Plousey, Masse et Brice en 1929, puis G. Lemarchand la même année⁴. Périodiquement, l'idée se refait jour d'utiliser le sous-sol pour désengorger la capitale, avec le succès que l'on sait. C'est dans ce contexte que sera fondé en 1933 le Groupe d'Etudes du Centre Urbain Souterrain (G.E.C.U.S.).

1. *Ibid.*, p. 353.

2. J. L. COHEN, "Présentation : les visions métropolitaines d'Eugène Hénard", in : HENARD, *op. cit.*, p. XII sq.

3. E. MASSARD, "Paris se congestionne, comment peut-on le guérir ?", *La science et la vie* (10), janv. 1914, pp. 26-42. Voir aussi : A. GUILLERME, *La congestion urbaine à Paris : la circulation automobile en question (1960-1970)*, rapport de recherche pour le Plan Urbain, Champs-sur-Marne : L.T.M.U./A.R.D.U., 1993 (à paraître).

4. E. UTUDJIAN, "Aperçu historique des diverses propositions de voies souterraines et de parkings souterrains pour véhicules de la capitale (...)", *Monde souterrain* (57), févr. 1950, p. 304.

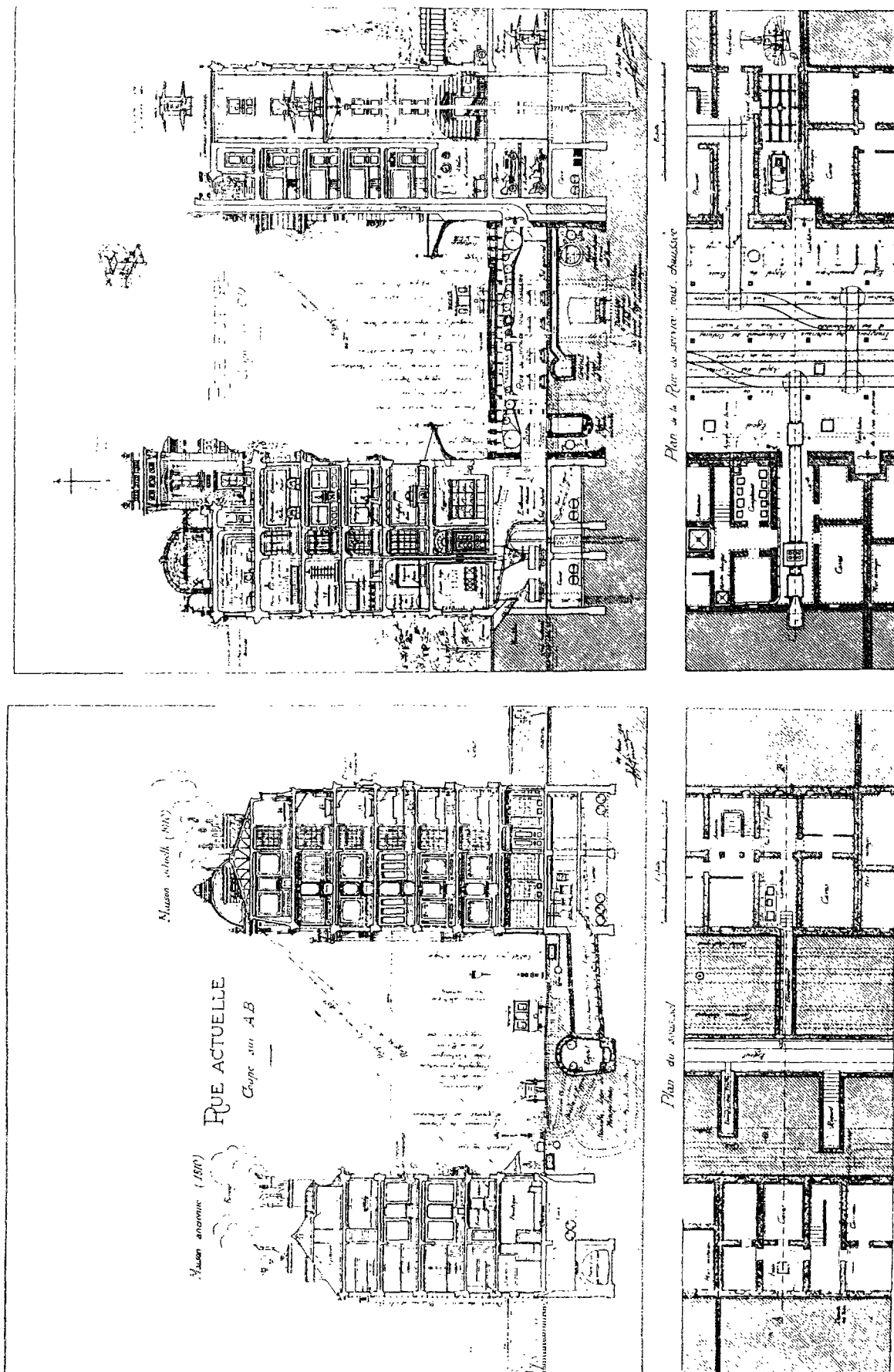


Figure 58. Rue actuelle et rue future selon Eugène Hénard.

Source : E. HENARD, *Etudes sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme*, réimpression [1ère éd. 1903-1910], Paris : L'équerre, 1982, pp. 348-351.

IV.2. L'URBANISME SOUTERRAIN

Au tout début des années 1930, un petit groupe d'architectes, dont Edouard Utudjian — qui portera le groupe jusqu'à sa mort en 1975 —, se réunit régulièrement :

"pour bavarder «architecture». L'impuissance de l'urbanisme devant l'évolution de la cité contemporaine était le sujet favori de nos conversations. Paris, cette immense agglomération souffrant du malaise du développement, nous semblé quelque peu abandonné à son sort. La crise aiguë de circulation était enrayée à coup d'arrêtés préfectoraux, la solution de ce problème architectural et du domaine de l'urbanisme ayant été confiée aux soins du Préfet de Police. La grande presse se contentait d'enregistrer la création de nouveaux sens uniques et la plantations périodique de quelques clous aux carrefours encombrés, à l'usage du piéton électeur, ceci constituant le fin mot de l'urbanisme appliqué.

.....

"Par ailleurs, la cocasserie de certains gabarits et l'ineptie de certains règlements nous ont incité à débattre de certains de ces problèmes vitaux [...]. C'est à ce moment que nous avons remarqué la tendance plus ou moins curieuse de certains de nos confrères à s'étendre audacieusement en sous-sol [...]. nous étions enclins à voir là un geste quelque peu misanthropique [...].

"Nous étions également intrigués par les innovations dans l'esprit des constructions sans fenêtres, de la maison sans jour, etc..., et de leur réalisation en somme logique dans le domaine industriel, sans parler des salles de spectacles climatisées et sous pression atmosphérique que nous voyions pousser sans cesse autour de nous. N'y avait-il pas là une nouvelle source d'inspiration et un nouveau domaine de possibilité pour nous, les jeunes ? Ne pourrions-nous envisager les problèmes urbains sous un angle nouveau, ne serait-ce que par pure spéculation abstraite ? Que risquions-nous en sacrifiant un peu de notre temps à la recherche de solutions nouvelles dans le domaine souterrain, parallèlement à des controverses d'urbanisme en général ?"¹

Obsédés par le *Metropolis* de Fritz Lang et l'image du paquebot — l'un des objets fascinants de Jean-Louis Cohen² —, ils créent en 1933 le Groupe d'Etudes du Centre Urbain Souterrain (G.E.C.U.S.)³. Ce mouvement devient rapidement international⁴ avec

¹. G.E.C.U.S., *Programme, activité, statuts, 1933-1934*, s. l. n. d., pp. 16-17.

². J. L. COHEN, *Architecture et culture technique au XXe siècle : bilan international*, rapport de recherche pour la Délégation à la Recherche et à l'Innovation du ministère de l'Equipement, Paris : Ecole d'Architecture Paris-Villemin, 1990, chap. 4 : "Objet fascinant 2 : le bateau".

³. Puis Groupe d'Etudes et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain (à partir de 1938).

⁴. Comme cela se passe souvent dans la première moitié du XXe siècle : l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (A.I.P.C.R.) est créée en 1909 (E. NAUD, "Soixante ans de l'A.I.P.C.R.", in : *AIPCR-PIARC, 1909-1969*, Paris : A.I.P.C.R., [1970], p. 16), le premier Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation (C.I.M.S.T.F.) se tient en même temps que le congrès du G.E.C.U.S.

le Comité Permanent International d'Urbanisme Souterrain¹, et il est semble-t-il aujourd'hui tombé dans l'oubli, malgré son ampleur : jusqu'à sa mort, en 1975, Edouard Utudjian en fera la promotion sur tous les continents, grâce à une revue² qui paraît plus ou moins régulièrement de 1936 à 1975, à des congrès et symposiums internationaux³ (le premier congrès se tient à Paris en 1937 à l'occasion de l'exposition internationale dont une section est précisément consacrée à l'urbanisme souterrain, il réunit 250 congressistes⁴), à des publications diverses⁵, à des actions d'enseignement (Edouard Utudjian enseigne l'urbanisme souterrain à l'Ecole des Beaux Arts⁶, à l'Ecole Spéciale d'Architecture, à l'Ecole Spéciale de Mécanique et d'Electricité⁷, etc.), à des prix décernés chaque année pour des travaux relatifs à la connaissance, l'aménagement et l'utilisation du sous-sol (cinq lauréats par an).

La création du G.E.C.U.S., seul mouvement de cette nature à cette époque, repose sur trois constats :

- le chaos du sous-sol, qui doit être jugulé par une gestion rationnelle des équipements ;
- l'encombrement de la surface, qui doit entraîner l'implantation de certaines fonctions en souterrain ;
- le risque d'agressions étrangères, qui nécessite la création d'abris pour la population et l'enterrement des usines stratégiques.

¹. Devenu après 1940 Comité Permanent International des Techniques et de l'Urbanisme Souterrains. En 1948, vingt-six pays y sont représentés. "Projet de statuts pour le Comité Permanent International d'Urbanisme Souterrain", in : *Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain*, Rotterdam, juin 1948, vol. 1, Rotterdam, s. d., p. IV.4.

². *Le monde souterrain* (de 1933 à 1967), *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (de 1967 à 1970), *Travaux souterrains* (de 1971 à 1975).

³. 5 congrès de 1937 à 1969, 5 symposiums.

⁴. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain. I : Technique des aménagements souterrains*, texte des 24 conférences données à l'E.N.S.B.A., Paris, [1959], p. 6.

⁵. *Encyclopédie du monde souterrain*, etc.

⁶. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain*, op. cit.

⁷. *Le monde souterrain* rend régulièrement compte des activités d'enseignement et de promotion du G.E.C.U.S. d'E. Utudjian ; voir par exemple : "Cours et conférences de M. Edouard Utudjian, 1966-2e sem.", *Monde souterrain* (148), oct.-nov.-déc. 1966, p. 222 ; "Cours et conférences de M. Edouard Utudjian, 1967-1er sem.", *Monde souterrain* (151), juil.-août-sept. 1967, pp. 386-387.

Ces motivations évolueront tout au long de l'existence du G.E.C.U.S., et, outre le manifeste, conduiront ses membres à faire des propositions concrètes d'aménagement et de gestion du sous-sol, dans lesquelles toutes les contraintes sont prises en compte : techniques (mécanique des sols, génie civil), juridiques, économiques, humaines (habitabilité, psychologie), etc. En effet, si en 1937, les architectes sont majoritairement représentés dans le groupe (on en compte soixante pour une centaine d'adhérents), on y trouve aussi de nombreux ingénieurs (une trentaine) de diverses disciplines : mineurs, éclairagistes, électriciens, et quelques juristes (six)¹.

¹. *L'activité au sous-sol (1936-1937)*, Paris, [1936-1937], pp. 127-128.

IV.2.1. DOCTRINE

"Prodigieusement dépassée par les progrès de la science, la grande ville d'origine ancienne est devenue une sorte de ville-paradoxe".

Marcel Poëte, "La ville de demain", in : *L'activité au sous-sol*, Paris, [1936-1937], p. 7.

Les *maux urbains* dénoncés par le G.E.C.U.S. n'ont rien de novateur : au début du siècle, les réflexions des urbanistes, des architectes et des ingénieurs sur l'hygiène, le logement, la circulation, l'affectation du sol foisonnent. Mais la solution proposée est, à l'époque, originale : puisque la surface est encombrée, il faut utiliser la *troisième dimension*, le sous-sol, dont les ressources sont encore peu ou mal exploitées.

Cette optique est fermement opposée à celle d'autres penseurs contemporains, en particulier Le Corbusier, c'est pourquoi elle séduira les adeptes du patrimoine bâti, comme Marcel Poëte, l'un des présidents d'honneur du G.E.C.U.S. dès sa création, qui introduit la première publication du groupe :

"M. Le Corbusier a préconisé une solution consistant à raser le centre de cette ville [Paris] : sur l'espace libre ainsi réalisé, la population serait agglomérée en des gratte-ciel qu'accompagneraient et que sépareraient de vastes parcs où l'on pourrait réédifier — telles des fabriques de jardins anglais — les vieux hôtels du Marais détruit. Une circulation, canalisée au long de voies droites, correspondrait à tous les besoins. [...] bref, tout un ordre fécond : voilà ce que nous offre la ville de M. Le Corbusier qui a compris mieux que quiconque que les progrès accélérés de la science et les applications pratiques qui suivaient obligeaient à réaliser de nouveaux arrangements de vie sociale et tendaient à une certaine standardisation humaine. Son erreur réside seulement dans l'esprit de système qui l'anime et dans son idée d'une ville standard. La ville est en soi une conception pure et simple de l'esprit ; il n'existe, dans la réalité, que des individualités urbaines. [...]"

"M. Le Corbusier, en présentant, l'été dernier, au G.E.C.U.S., sa cité radieuse, a dit avec raison qu'il ne fallait pas déplacer une ville. Mais déplacer une ville ne consiste pas seulement à la faire changer d'emplacement topographique, on la déplace encore en la désolidarisant de son passé."

.....

"Mais une agglomération n'est pas un simple composé de corps humains ; c'est aussi et surtout, oserai-je dire, un composé d'âmes. Et cette considération semble être absente de l'œuvre de M. Le Corbusier, comme des systèmes socialistes actuels. Pourtant le machinisme, auquel le socialisme rattache son action, pose, de ce point de vue, une question capitale. Le machinisme et la démocratie ont partie liée."¹

¹. M. POËTE, "La ville de demain", in : *L'activité au sous-sol*, op. cit. , pp. 8-9.

Ainsi, l'objectif de conservation du patrimoine est-il clairement affiché par le G.E.C.U.S., et ne constitue-t-il pas seulement un alibi. Architecte et urbaniste, Edouard Utudjian est sensible à l'histoire comme en témoignent ses nombreux travaux consacrés à l'architecture arménienne, en particulier religieuse¹. Partant de la ville historique, il faut trouver une solution à l'engorgement qui n'altère pas le patrimoine, comme c'est le cas dans la "lutte constante entre les voies en création et les vestiges du passé"². Ceci passe par la réalisation d'infrastructures souterraines pour la circulation et le stockage : constatant en 1966 que sur les 8 500 hectares parisiens, 3 000 sont occupés par des entrepôts et dépôts de toute sorte³, Marc Gaillard veut montrer l'avantage qu'il y aurait à les enterrer.

En outre, le désengorgement n'est pas le seul objectif du G.E.C.U.S. Dans les années 1930, l'imminence de la guerre milite pour la création d'abris souterrains destinés à accueillir les populations : les parcs de stationnement, les salles de conférences, de cinéma, de spectacle, d'archives, de bibliothèque, implantés dans le sous-sol des villes, fonctionnant comme des "ouvrages bivalents"⁴, pourront être utilisés à cette fin. Cette peur de l'attaque aérienne sera toujours présente dans les écrits du groupe et lors des congrès, devenant particulièrement aiguë à la veille de la déclaration de guerre, où *Le monde souterrain* devient "Organe de coordination de l'urbanisme souterrain ; revue de la protection souterraine, défense active et passive"⁵ et affiche clairement ses nouvelles orientations :

"Aujourd'hui, alors que le pays est en état de guerre, les problèmes de la Défense Passive prennent une importance capitale et le G.E.C.U.S., dont le désintéressement est absolu, se doit de les étudier avec plus d'ampleur et de leur consacrer dans le «*Monde souterrain*», une place de choix.

¹. M. RAGON, "Edouard Utudjian et l'urbanisme souterrain", in : E. UTUDJIAN, *Architecture et urbanisme souterrains*, Paris : Robert Laffont, 1966, p. 9. E. Utudjian a par ailleurs été chargé, dans les années soixante de la restauration de la basilique du Saint-Sépulcre à Jérusalem (des articles y sont régulièrement consacrés dans *Le monde souterrain*).

². E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...), op. cit.*, p. 2.

³. M. GAILLARD, "L'urbanisme souterrain : des possibilités encore peu exploitées", *Monde souterrain* (147), juil.-août-sept. 1966, p. 160.

⁴. "4e congrès international de l'urbanisme souterrain et des techniques des travaux en sous-sol, Varsovie du 1er au 7 juin (...). Allocution d'E. Utudjian", *Monde souterrain* (147), juil.-août-sept. 1966, p. 156.

⁵. *Monde souterrain* (36-37-38), nov. 1939.

"Il est même désirable que cet organe devienne l'organe officiel de la Défense Passive."¹

La paix retrouvée, alors que sourd la guerre froide, le risque atomique vient au cœur des débats sur la protection au deuxième congrès international : "La vie souterraine sera-t-elle le palliatif de la guerre atomique ?" demande Maurice Dérivière, pour qui la folie règne sur le monde², tandis que par référence à la ville nippone, W. Skorachevski propose d'adapter la ville aux nouveaux dangers en supprimant les grandes concentrations humaines, industrielles et administratives³.

Conscients de l'audace de leur proposition, les membres du G.E.C.U.S. rechercheront toujours la caution de l'histoire. "Depuis la plus haute antiquité, trois causes fondamentales paraissent avoir contribué au développement des travaux souterrains [:] [...] la prospection [...], le franchissement d'un obstacle naturel ou un parcours [...], le besoin d'abri ou de défense"⁴, écrit E. Utudjian en 1936, montrant à la fois le caractère inéluctable et naturel de l'urbanisme souterrain. Cet argument, facile mais ô combien utilisé, reviendra comme un *leitmotiv* tout au long de l'existence du G.E.C.U.S., qui reçut, dès l'origine, un accueil peu favorable du public. Introduisant le quatrième Congrès international, E. Utudjian évoque les arguments de ses détracteurs :

"on nous a appelé des fossoyeurs, des gens qui voulaient enterrer l'humanité. Nous leur avons répondu en élaborant une Doctrine. L'humanité, dès son aurore, a commencé à explorer la terre, d'abord pour y trouver de l'eau, ensuite pour extraire des matières lapidaires, plus tard on exploita les mines, c'était ce que nous avons appelé le Facteur d'Investigation ou le Facteur d'*Exploration* qui a incité les hommes à faire des trous, à percer la terre."⁵

¹. Général TONNET, "Orientation du «Monde souterrain»", *Monde souterrain* (36-37-38), nov. 1939, p. 187. La déroute française, le compromis du maréchal Pétain et l'occupation nazie stopperont cet élan défensif. En Grande Bretagne, il ne nous semble pas qu'il y ait des recherches en ce sens : là-bas comme ici la guerre doit être courte, de mouvement et non de position.

². M. DERIBERE, "La vie souterraine sera-t-elle le palliatif de la guerre atomique ?", in : *Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain*, op. cit., vol. 1, Rotterdam, s. d., pp. I.61-I.62.

³. W. SKORACHEVSKI, "La construction de villes en époque de bombe atomique", *ibid.*, pp. I.71-I.73.

⁴. E. UTUDJIAN, "Historique du sous-sol", in : *L'activité au sous-sol*, op. cit., p. 27.

⁵. "4e congrès international de l'urbanisme souterrain (...). Allocution d'E. Utudjian", op. cit., p. 155.

Nécessité de renouveler sans cesse cette justification historique. En effet, si l'on en croit E. Utudjian lui-même, les premiers contacts avec le monde de l'architecture et de l'urbanisme¹ ont été pour le moins difficiles ; il les rappelle dans la même allocution :

"Ils ont ri, ils ont dit «mais vous êtes fou. qu'est-ce que c'est, vous voulez enterrer l'humanité vivante, il nous faut du soleil, il nous faut de la verdure, il nous faut la vue de la mer». Et Monsieur BERARD, le Président de la Fédération du Bâtiment en FRANCE prit la parole pour dire : «M. Edouard UTUDJIAN, est une homme d'avant garde, mais comme tous les hommes d'avant garde c'est un utopiste. Nous devons condamner son utopisme car il agit contre l'humanité». Il y eut des applaudissements frénétiques. Je suis sorti confus, tout rouge. Quatre ans après, le dit M. BERARD présidait le Premier Congrès International d'Urbanisme Souterrain [...]. Entre temps il avait compris."²

Pourtant, le G.E.C.U.S. s'est toujours défendu de vouloir enterrer l'habitat, qui trouve nécessairement sa place en surface³ : c'est le projet du groupe en son entier. Mais les positions individuelles divergent, ce qui a certainement causé beaucoup de tort aux promoteurs de l'urbanisme souterrain. En effet, que dire d'un Victor Deznaï, lorsqu'il affirme, lors du Premier congrès : "La ville cavernée, symbole et fonction d'une époque hautement civilisée, répond à toutes les demandes"⁴ ? Dans son esprit, la guerre doit conduire à l'enfouissement. William Hare, représentant à cette occasion la *Garden and Town Planning Engineers Association*, lui répondra par un autre projet :

"l'auteur qui a toujours travaillé dans l'idéal de la paix et de la civilisation au problème de l'extension des villes grâce aux cités-jardins ne peut admettre l'idée de l'urbanisme souterrain, qu'il considère comme un système de défense contre toute attaque militaire. Suivant son point de vue l'urbanisme souterrain ne peut qu'augmenter et non diminuer l'intensité de la lutte pour l'existence dont souffrent toutes les grandes villes."⁵

Le représentant de la Société Française des Urbanistes, André Ménabréa quant à lui "craint que le terme d'urbanisme souterrain n'entraîne à concevoir de véritables villes

¹. A Bordeaux, lors du premier Congrès d'Urbanisme français de 1934.

². *Ibid.*, p. 157.

³. E. UTUDJIAN, M. UTUDJIAN, "L'organisation du sous-sol des villes (vœux du G.E.C.U.S.)", in : *Premier congrès international d'urbanisme souterrain*, résumés des communications au congrès de Paris, juil. 1937, s. l. n. d., 1ère section, fiche 32.

⁴. V. DEZNAÏ, "La ville cavernée", *ibid.*, 1ère section, fiche 14.

⁵. W. L. HARE, "Rapport existant entre le décongestionnement des villes par des cités jardins et l'urbanisme souterrain", *ibid.*, 1ère section, fiche 36.

souterraines pour lesquelles la nature de l'homme n'est pas faite."¹ Ces réactions épidermiques ont conduit le G.E.C.U.S. à réaffirmer son opposition à la construction d'habitat en sous-sol, mais n'avait-il pas placé en exergue de *L'activité au sous-sol*, en 1936-37, une phrase significative de Maurice Maeterlinck² ? Il a fallu par la suite redresser la barre. A ce titre, il est significatif que l'un des ouvrages d'E. Utudjian³ débute par un chapitre intitulé : "Demain les villes cavernes ? Non, une libération de la cité moderne"⁴.

1. A. MENABREA, "Les limites de l'urbanisme souterrain", *ibid.*, 1ère section, fiche 4.

2. "Est-ce un modèle d'organisation sociale, un tableau du futur, une sorte «d'anticipation» que nous offrent les termites ? Ne disons pas que ce n'est pas possible, que jamais nous n'en viendrons là, on n'en vient beaucoup plus facilement et plus vite qu'on ne pense à des choses qu'on n'osait pas imaginer.", M. MÆTERLINCK, *La vie des termites*, cité in : *L'activité au sous-sol*, *op. cit.*, p. 6.

3. A gros tirage si l'on en juge par la quantité encore disponible aujourd'hui sur le marché de l'occasion.

4. E. UTUDJIAN, *Architecture et urbanisme souterrains*, Paris : Robert Laffont, 1966, pp. 40-41.

IV.2.2. PROJETS

a) Aménagement de Paris

"La solution des voies souterraines pour Paris est à l'ordre du jour. Il est même permis d'affirmer que la solution en est acquise."

J. Tchumi, "Paris, aménagement souterrain de la Capitale. Le problème de la circulation. Proposition de voies souterraines à grande profondeur", *Monde souterrain* (15-16-17), 1937, p. 135.

Le G.E.C.U.S. critique violemment les premiers projets d'autoroutes souterraines que plusieurs ingénieurs ont élaboré pour décongestionner les grandes villes, rapportés au cinquième congrès de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (A.I.P.C.R.) de Milan en 1926¹ et au sixième, tenu à Lisbonne en 1931². Selon Jean Tchumi qui a largement contribué à l'élaboration du projet du G.E.C.U.S., ces projets "pêchent tous, par le **caractère local**, par l'étude partielle d'un quartier"³. Le projet Lemarchand couvre toute la capitale, mais "le tracé préconisé pour la rive droite, réseau à peu de profondeur, inspiré du métro, ne produirait en cas de développement, qu'un nouvel élément de l'écheveau inextricable du sous-sol actuel."⁴

Dès sa création, et à la demande du Ministère de l'Economie Nationale⁵, le G.E.C.U.S. propose un plan d'aménagement du sous-sol de la capitale fondé sur la création d'un réseau d'autoroutes souterraines et de nombreux parcs de stationnement. Une attention particulière est portée à la gestion et à la composition des interfaces entre aménagements souterrains et surface (ce qui est aujourd'hui encore rarement le cas). L'objectif est de désengorger Paris et de permettre un accès rapide à la banlieue, notamment à l'aérodrome du Bourget. Le projet instaure une gestion rationnelle du sous-

¹. *Cinquième congrès international de la route*, Milan, 1926, 2e section : "Circulation et exploitation", 5e question : "Développement et aménagement des villes dans l'intérêt de la circulation", 6e question : "Routes spéciales pour automobiles".

². *Sixième congrès international de la route*, Lisbonne, 1931, 1ère section : "Congestion du trafic", 3e question : "Voies souterraines".

³. J. TCHUMI, "Paris, aménagement souterrain de la Capitale. Le problème de la circulation. Proposition de voies souterraines à grande profondeur", *Monde souterrain* (15-16-17), 1937, p. 137.

⁴. *Ibid*, loc. cit.

⁵. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., p. 6.

sol grâce à la généralisation du principe des galeries techniques¹, avec une "double utilité pour le temps de guerre comme pour le temps de paix."² Car "il importe d'examiner le problème dans l'hypothèse la plus défavorable et cette hypothèse se trouve malheureusement, en même temps la plus probable : celle d'une attaque aérienne brusquée sans déclaration de guerre et peut-être même sans tension diplomatique"³, il faut donc pouvoir agir vite en abritant la population en moins d'une heure.

Le G.E.C.U.S. propose un premier plan de réseau souterrain qui reste proche dans son tracé du réseau de surface, comme l'est déjà le métropolitain. En effet, en France la propriété du sous-sol est, sauf dans le cadre de la législation des Mines, associée à celle du sol ; c'est pourquoi et encore aujourd'hui le tracé des réseaux souterrains épouse généralement celui de la voie publique. Mais le G.E.C.U.S. accueille aussi des juristes, en particulier Armand Utudjian, frère d'Edouard. Celui-ci propose un système d'expropriation du sous-sol indépendamment de la surface⁴. Dès lors, le tracé souterrain devient libre des contraintes juridiques comme des contraintes techniques, l'implantation en profondeur donnant accès à un espace vierge et à un sol de bonne qualité : Paul Lemoine, directeur honoraire du Muséum National d'Histoire Naturelle préconise une profondeur de 80 mètres et ajoute : "A Paris, cette réalisation sera très facile. Toute cette organisation se trouvera dans la craie blanche facile à creuser, aquifère par de grandes fissures faciles à aveugler"⁵, en outre, à cette profondeur "les vestiges historiques n'existent pas"⁶. Gaston Bardet, membre de la première heure du groupe et rédacteur en chef du *Monde souterrain*, fait un premier rapport au Congrès de Bordeaux en 1934, basé sur un système radiocentrique qui crée, d'après Tchumi, "un cadre définitif, immuable et par cela infiniment critiquable "⁷ (figure 59).

1. L'égout haussmannien constitue à proprement parler la première galerie technique puisqu'il ne se contente pas de transporter les eaux pluviales et usées. Dans le projet du G.E.C.U.S., c'est le tunnel routier qui accueille les réseaux.

2. TCHUMI, *op. cit.*, p. 136.

3. *Ibid.*, *loc. cit.*

4. A. UTUDJIAN, "Législation souterraine", in : *Premier congrès international d'urbanisme souterrain*, *op. cit.*, 1ère section, fiche 31.

5. P. LEMOINE, "La nécessité d'un programme d'urbanisme souterrain en profondeur", *ibid.*, 1ère section, fiche 1.

6. TCHUMI, *op. cit.*, p. 138.

7. *Ibid.*, *loc. cit.*

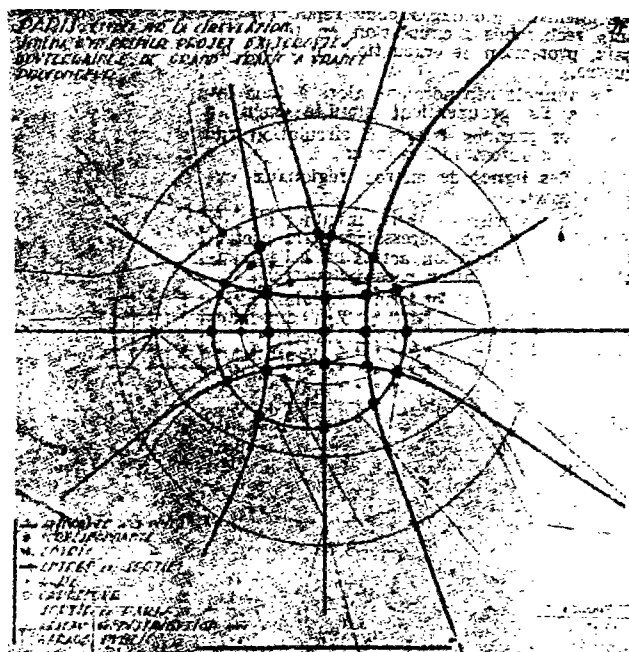


Figure 59. Les autoroutes souterraines de Gaston Bardet (1934).

Source : E. UTUDJIAN, "Aperçu historique des diverses propositions de voies souterraines et de parkings souterrains pour véhicules de la capitale (...)", *Monde souterrain* (57), févr. 1950, p. 307.

Le projet définitif (figure 60), présenté au conseil municipal de Paris en 1936, doit prendre en compte le caractère évolutif de la ville et l'existence de plusieurs pôles d'activités. Sur le réseau principal — le plus profond — constitué de deux voies perpendiculaires (nord-sud et est-ouest) et d'un maillage diagonal orthogonal de 1 500 à 3 000 mètres de côté en connexion avec les autoroutes nationales, se greffe un réseau secondaire, fixé sur les bissectrices et dont les côtés ont 400 à 500 mètres de longueur. Les parcs de stationnement complètent le projet. Des rampes hélicoïdales (figure 61) donnent accès au réseau souterrain : il n'y a donc aucun croisement à gérer¹.

¹. *Ibid.*, pp. 138-139.

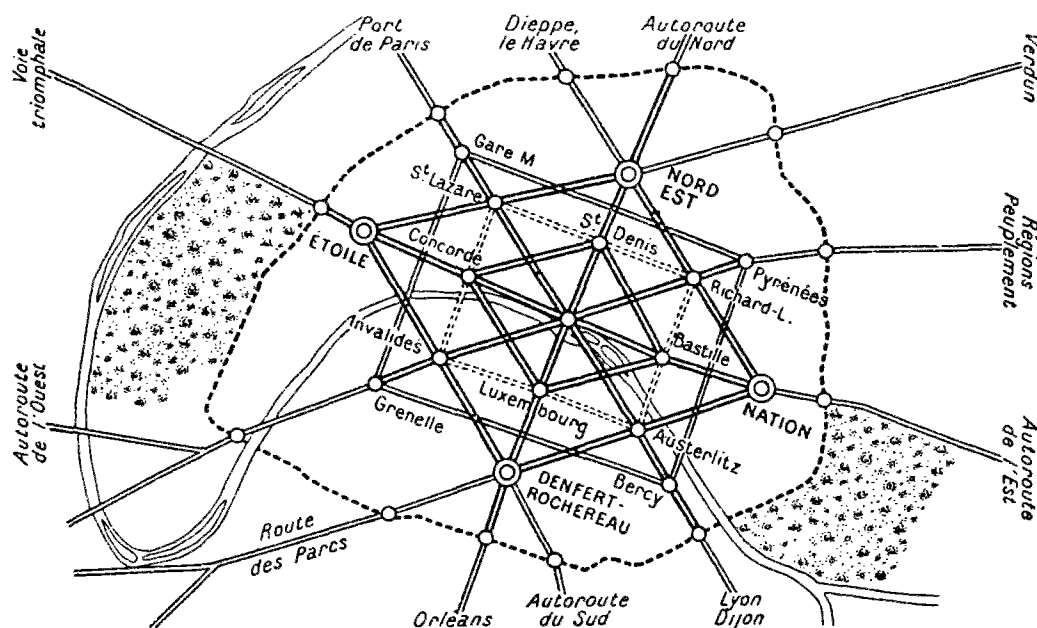


Figure 60. Le réseau parisien d'autoroutes souterraines (1936).

Source : E. UTUDJIAN, *L'urbanisme souterrain*, 2e éd. [1ère éd. 1952], Paris, 1964, p. 114.

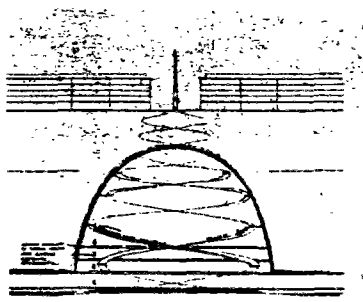


Figure 61. Rampes hélicoïdales d'accès aux autoroutes souterraines (1936).

Source : E. UTUDJIAN, "Aperçu historique des diverses propositions de voies souterraines et de parkings souterrains pour véhicules de la capitale (...)", *Monde souterrain* (57), févr. 1950, p. 313.

Les voies accueilleront les véhicules particuliers et les poids lourds, ainsi que des lignes de transports en communs rapides (bus voire métropolitain). Cette dernière proposition préfigure le Réseau Express Régional, qui ne sera réalisé à Paris qu'à la fin des années soixante. Elle est reprise plus en détail par un autre projet de circulation souterraine exposé par Pierre Gadot, lui aussi membre du G.E.C.U.S., qui réalise en outre une véritable étude circulation de la ville de Paris : ne disposant pas de comptages du trafic, il se base sur les données concernant les transports en commun (tramway, autobus, métro) qu'il extrapole "en admettant qu'à une circulation donnée de véhicules de

la S.T.C.R.P.¹ corresponde une circulation sensiblement proportionnelle de véhicules particuliers et de taxis"². Il analyse les moyennes journalières de l'année sur les artères parisiennes (on pourrait lui reprocher de ne pas raisonner en heure de pointe ; en outre, la proportionnalité transport en commun/transport individuel sur un axe n'est pas certaine, le transport individuel permettant d'effectuer des déplacements difficiles voire impossibles par les transports en commun), ce qui le conduit à élaborer un tracé de voies souterraines pour les automobiles et pour le métropolitain express. Le tracé est cependant moins audacieux que celui de Tchumi dans la mesure où il reste plus proche du réseau de surface.

Dans ces deux projets, un des principes de base est la liaison entre le plan de circulation préconisé et le plan d'aménagement à l'échelle de l'agglomération : connexion avec les autoroutes de surface prévues aux portes de Paris, caractère évolutif du projet de Tchumi en fonction du développement de la ville. Cette dépendance du réseau de transport par rapport au schéma d'aménagement peut paraître triviale, mais il faut se souvenir que dans le cas de Paris, les infrastructures de transport routier programmées à l'échelle régionale en ont souvent fait fi³.

Le projet du G.E.C.U.S. assure, selon ses auteurs, une rentabilité des capitaux. L'Etat doit participer aux frais d'investissement, puisque le projet lui "apporterait [...] la solution du problème militaire de la mise à l'abri de la population parisienne et des services publics"⁴, en outre il "apporterait directement ou indirectement la solution quasi totale du problème du chômage dans le département de la Seine."⁵ Les autres recettes proviennent de l'exploitation des garages et des lignes de transport en commun, et d'un droit de péage annuel imposé aux véhicules, "équivalent pour les usagers de banlieue et notamment pour les voitures industrielles, à l'économie d'essence et d'usure réalisée par le réseau"⁶. Cette réflexion prometteuse est issue d'un rapport commandé à Sir John

1. Société des Transports en Commun de la Région Parisienne.

2. P. GADOT, "La circulation des véhicules dans les grandes agglomérations", *Monde souterrain* (15-16-17), 1937, p. 143.

3. MERLIN, *La planification des transports urbains, enjeux et méthodes*, Paris : Masson, 1984, p. 86.

4. TCHUMI, *op. cit.*, p. 136.

5. *Ibid.*, pp. 136-137.

6. *Ibid.*, p. 136.

Wolfebary et Henry Davidson par la Commission royale du trafic britannique en 1905¹. En effet, le G.E.C.U.S. évalue en 1937 la perte annuelle causée par le ralentissement de la circulation. Les chiffres sont révisés en 1954 et présentés dans le tableau 45. Cette estimation est bien entendu approximative : le taux d'occupation des véhicules est probablement en 1954 supérieur à 1 (il est actuellement de 1,25 en région parisienne²), le coût d'amortissement imputable à la congestion est certainement surévalué.

Tableau 45. Evaluation de la perte annuelle subie par l'économie parisienne du fait de la congestion du trafic (F 1954).

(base : coût horaire 300 F — salaire moyen —, perte de temps 25 % de la durée totale des déplacements)

	Millions de Francs
Piétons. 1 000 000 de déplacements par jour de 30 minutes en moyenne.....	6 750
Véhicules. 250 000 déplacements par jour (transit et local) de 2 heures en moyenne*	
temps perdu par les conducteurs (une personne par véhicule)	13 250
essence (base : 10 l/h, 65 F/l)	29 250
lubrifiant	1 875
amortissement des véhicules (base : coût moyen 600 000 F sur 3 ans, 30 000 km parcourus/an, soit 50 000 F par véhicule).....	12 500
entretien, pièces, usure des pneumatiques (base : 20 % du coût de la voiture)	2 500
surcoût des services de police et d'entretien (1 000 agents supplémentaires).....	1 000
Total général.....	67 125

* Soit 23 millions d'heures perdues annuellement, à comparer avec les chiffres actuels : selon les promoteurs du projet LASER, la perte annuelle est de 200 millions d'heures par an dans Paris (boulevard périphérique exclu), et de 700 Mh/a dans la région Ile-de-France (A. BROTO, "LASER, une véritable voirie souterraine pour Paris et l'Ile-de-France", *R.G.R.A.* (681), janv. 1991, p. 38).

D'après : E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain. I : Techniques des aménagements souterrains*, Paris, [1959], p. 106.

¹. Ils estiment que le travail des ouvriers de Londres représente 47,5 milliards de francs. En prenant seulement 1 % de ce capital comme part représentative du préjudice causé par les défauts des moyens de locomotion, ils arrivent à 500 millions de francs ; dans l'hypothèse d'une perte de temps d'un quart d'heure par jour, la perte subie atteint 3 % soit 1,5 milliard de francs par an. Cité par T. ADAMS, W. LANCASHIRE, W. RILEY, H. STILGOE, "Projets de rues et routes nouvelles", in : *Troisième congrès international de la route*, op. cit., communication n° 7, p. 21.

². MERLIN, *La planification des transports urbains*, op. cit., p. 35.

La ville de Paris accueille favorablement les projets, et commet son service technique pour effectuer une étude plus approfondie. L'enquête évalue à un milliard de francs la dépense nécessaire à la mise en service d'une vingtaine de kilomètres de voie à quatre files et conclut qu'il vaut mieux multiplier les lignes de métro pour diminuer la congestion¹.

Le projet des années trente mentionnait la création de nombreux parcs de stationnement souterrains, mais était peu précis sur ce chapitre ; en 1954, Bernard Lafay, président du conseil municipal de Paris, s'adresse au G.E.C.U.S. afin d'élaborer un programme complet de stationnement souterrain dans la capitale. En évaluant la capacité maximale de stationnement sur voie dans le quartier de l'Opéra, le groupe estime celle de la ville à 190 000 places en bordure de voies (tableau 46)². La création de parcs souterrains permettrait de dégager la chaussée : 41 parcs sont prévus, représentant 54 000 places au total³. Majoritairement implantés sous le domaine public, ils réduisent d'autant le coût des acquisitions foncières ; l'exploitation pourrait se faire sous le régime de la concession. A la suite de ce rapport, la ville de Paris lance un concours pour la construction et l'exploitation de neuf garages publics souterrains, le bureau d'études du G.E.C.U.S., composé de quatorze architectes-urbanistes, un géologue — en l'occurrence Robert Soyer, auteur de la célèbre *Géologie de Paris*⁴ et de nombreuses enquêtes géologiques lors de la construction du métro —, neuf ingénieurs spécialistes, un spécialiste des problèmes de sécurité, et trente-six dessinateurs⁵ obtient quatre premiers prix⁶. En outre, dans le cadre des projets de sauvegarde de Montmartre, le G.E.C.U.S. propose de réaliser trois parcs souterrains, sous les jardins de la rue

¹. P. JORDANT, "Les projets d'autoroutes souterraines à Paris", in : *Deuxième congrès international des autoroutes*, Milan, 1935, 2e question, fasc. 2.

². E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., p. 108. On compte aujourd'hui 240 000 places de stationnement sur la voie publique et 468 200 hors voie publique (MAIRIE DE PARIS-DIRECTION DE LA VOIRIE, *Propositions pour une nouvelle politique de la circulation*, mai 1989, p. 31).

³.. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., pp. 106-107.

⁴. R. SOYER, *Géologie de Paris*, Paris, 1953, 610 p.

⁵. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., p. 111.

⁶. *Ibid.*, pp. 109-110. Les parcs pour lesquels le G.E.C.U.S. est lauréat sont situés jardins et square du Carrousel, square Emile Chautemps (le G.E.C.U.S. obtient le premier et le deuxième prix), avenue des Champs-Élysées, parc Monceau. Le G.E.C.U.S. obtient le deuxième prix pour les parcs du square Louvois et du square de la Trinité. Des prix sont attribués pour les parcs du square du Temple et du cours Albert Premier, le prix pour le parc du plateau Saint-Merri est suspendu.

Gabrielle, de la rue de l'Abreuvoir, et sous le square Willette, qui s'insèrent dans le plan d'aménagement d'ensemble de la butte¹. Plus tard, E. Utudjian développera la notion de parcs de dissuasion, à implanter aux portes de Paris afin de favoriser l'utilisation des transports en commun *intra muros*².

Tableau 46. Evaluation de la capacité de stationnement à Paris et des besoins actuels et futurs (1954).

Données :	
superficie totale du secteur d'étude (quartier Opéra — Saint-Lazare)	392 500 m ²
linéaire de stationnement (une file de stationnement pour une voie de largeur inférieure à 12 m, deux pour une largeur supérieure)	9 500 m
On en déduit :	
le nombre total de places de stationnement (déduction faite des bateaux et arrêts de transport en commun)	1 100 emplacements
soit	27,5 emplacements/ha
Sachant que :	
la superficie totale de Paris est de	7 000 ha
alors on obtient la capacité de stationnement dans la capitale	190 000 emplacements
En outre,	
la densité de population à Paris (non compris les bois de Boulogne et de Vincennes) est de	365 hab/ha
et la taille moyenne des ménages de	2,8 personnes/ménage
on en déduit la densité de logements	130 logements/ha
Le besoin en stationnement est donc d'au moins	130 emplacements/ha
à quoi il faut ajouter les voitures en transit (+ 20 à 40 %), d'où le besoin actuel	150 à 180 emplacements/ha
Si l'on retient pour l'avenir les mêmes objectifs de densité que pour la reconstruction du Havre	700 hab/ha
Par le même raisonnement, on arrive à une estimation des besoins futurs	300 à 350 emplacements/ha

D'après : . E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain. I : Technique des aménagements souterrains*, Paris, [1959], p. 108 ; et A. BOURNEIX, "Problèmes de la circulation et du stationnement dans Paris", in : *Rapports au troisième congrès international des techniques et de l'urbanisme souterrain*, Bruxelles, sept. 1959, Paris : G.E.C.U.S., 1960, fascicule 9, pp. 148-149.

¹. *Ibid.*, p. 118.

². E. UTUDJIAN, "Conférence à la Ligue urbaine et rurale : l'avenir du centre de Paris et l'urbanisme souterrain et le problème de l'aménagement du quartier des Halles", *Monde souterrain* (149), janv.-févr.-mars 1967, p. 260.

Le programme de réalisation des parcs souterrains constitue la première percée opérationnelle du G.E.C.U.S. à Paris ; *Le monde souterrain* présente régulièrement l'état d'avancement des travaux : en 1968, sept des parcs prévus sont réalisés, six en cours de construction, quatre sur le point de débiter¹. Mais "leur réalisation fut toutefois confiée à des promoteurs dont les études ne tinrent pas toujours compte des normes préconisées par le G.E.C.U.S. pour ces ouvrages d'intérêt public."²

Les années cinquante et soixante voient se succéder les plans d'aménagement de Paris : projets de 1956, P.A.D.O.G. — Plan d'Aménagement et d'Organisation Générale — approuvé en août 1960, avant-projet de programme de 1963, schéma directeur retenu en 1965, etc...³ ; tous se proposent, entre autres, de trouver une solution à la congestion du trafic. En 1968, le G.E.C.U.S. croit triompher, puisque le vote de la majorité gaullio-centriste du 6 mars fait explicitement référence à la solution souterraine tant pour les transports en commun que pour les automobiles⁴. Le groupe exulte ; la presse se fait largement l'écho de ce vote ; selon son habitude, *Le monde souterrain* reproduit les articles (favorables surtout, parfois défavorables) qui sont consacrés au G.E.C.U.S. et aux divers projets souterrains de par le monde. "Combien de temps faudra-t-il pour faire admettre que si les voitures stationnent en sous-sol elles peuvent aussi y circuler ?"⁵, demande Pierre Trey dans *Le Monde*. En effet, la construction de voies express sur les rives de la Seine ne permet qu'une liaison est-ouest, et la seule emprise disponible en surface pour une liaison nord-sud est le canal Saint-Martin... La rumeur court même que le G.E.C.U.S. pourrait être chargé officiellement de l'étude des circulations souterraines⁶, pour lesquelles il propose le même schéma que dans les années trente.

1. "Vers la réalisation du réseau d'autoroutes souterraines de Paris : une nouvelle victoire du G.E.C.U.S.", *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (153), janv.-févr.-mars 1968, p. 39.

2. *Ibid.*, loc. cit.

3. RONCAYOLO, *op. cit.*, pp. 244-248.

4. Art. 4 de la délibération du 6 mars 1968, reproduite dans la *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (153), janv.-févr.-mars 1968, p. 42.

5. P. TREY, "L'urbanisme souterrain va-t-il obtenir droit de cité à Paris ?" [paru dans *Le Monde* du 27 mars 1968], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (154), avr.-mai-juin 1968, p. 119.

6. B. MORROT, "Une association d'urbanistes pourrait être prochainement chargée d'étude de l'aménagement souterrain de la capitale : aurons-nous des autoroutes sous Paris ?" [paru dans *L'Aurore*, 30-31 mars 1968], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (154), avr.-mai-juin 1968, p. 120.

L'idée est relancée, et Jean Kérisel, membre du G.E.C.U.S. et déjà éminent mécanicien des sols, présente à la Société des Ingénieurs Civils de France un projet de liaison nord-sud entre le nouveau quartier Maine-Montparnasse et le futur quartier des Halles, techniquement réalisable au vu des contraintes géologiques et économiques¹. En effet, il évalue le coût de réalisation de l'infrastructure et le compare aux réalisations de surface (tableau 47).

Tableau 47. Coût de construction au kilomètre des infrastructures routières de surface et enterrées à Paris.

Type de voie	Coût (Millions de F/km)
Percée haussmannienne ^a	350
2 x 4 voies en surface ^b	470
Boulevard périphérique 2 x 4 voies ^c	50
2 x 4 voies en souterrain ^d	195

D'après : J. LEHUEROU-KERISEL, "L'urbanisme souterrain", *Monde souterrain* (154), avr.-mai-juin 1968, pp. 108-109.

^a. Sachant que le coût total des percées est de 900 millions de F au total pour 90 km réalisés et que le salaire moyen à l'époque était de 0,20 F/h (d'après Fourastié) alors qu'il est aujourd'hui de 7 F/h, il faut multiplier les coûts du Second Empire par 35 pour obtenir les francs de 1968.

^b. D'après une étude de liaison Gare Saint-Lazare— Gare de l'Est par une 2 x 3 voies estimée à 350 millions de F/km.

^c. Coût faible en la quasi absence d'acquisitions foncières.

^d. Coût du génie civil (linéaire et sorties) et de ventilation (frais capitalisés).

Inlassablement, le G.E.C.U.S. exhume le plan des années trente, comme il développera inlassablement ses théories, avec tout le statisme du militantisme convaincu mais peu écouté. La seule évolution du projet d'autoroutes souterraines, entre 1936 et 1971, concerne la limitation du nombre de sorties en surface dans Paris *intra-muros*, la diffusion vers la surface se faisant par l'intermédiaire de vastes parcs de stationnement souterrains dans lesquels les automobilistes abandonnent leurs véhicules pour découvrir la ville à pied². Il est vrai que cette proposition est d'actualité à Paris où, si le projet LASER (Liaison Automobile Souterraine Express Régionale, de l'entreprise GTM-Entrepose, filiale des Grands Travaux de Marseille) comporte une vingtaine d'entrées-sorties en surface, le projet concurrent Hysope (proposé par Bouygues et Spie Batignolles), lui, ne prévoit que cinq entrées-sorties (portes de Clichy, de la Villette, de

¹. J. LEHUEROU-KERISEL, "L'urbanisme souterrain", *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (154), avr.-mai-juin 1968, pp. 106-109.

². E. UTUDJIAN, "Le réseau d'autoroutes souterraines à moyenne et grande profondeur, de Paris, au VIe plan", *Travaux souterrains* (168), oct.-nov.-déc. 1971, p. 118.

Bagnolet, d'Orléans et de Versailles), et huit entrées ne permettant pas la sortie des véhicules dans Paris, avec un système de parkings comparable à celui du G.E.C.U.S.¹

Mais le schéma directeur ne sera pas appliqué : il ne réapparaît sous une forme nouvelle qu'en 1973², et c'est précisément le réaménagement du quartier des Halles qui va permettre au G.E.C.U.S. de s'imposer à Paris : en effet, la décision du transfert des Halles est prise en 1962³ ; le G.E.C.U.S. n'est pas, dans un premier temps, officiellement consulté mais critique la solution préconisée par l'administration qui prévoit la création sur 32 hectares de 830 000 m² de planchers (logements, commerces, bureaux, équipements), soit un coefficient d'utilisation du sol de 2,8, réservant seulement 4 hectares aux espaces verts. Pour le G.E.C.U.S., la solution souterraine s'impose encore une fois : en construisant en sous-sol, on peut atteindre un "C.U.S.S." (coefficient d'utilisation du sous-sol) de 6, permettant une meilleure rentabilité de l'opération⁴ (figure 62).

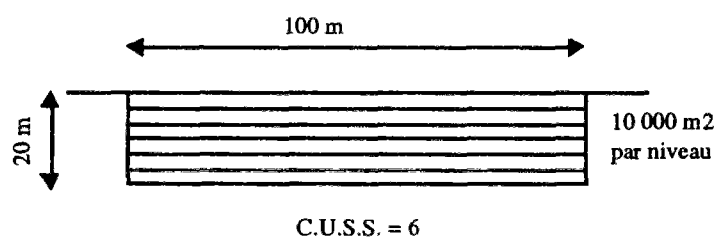
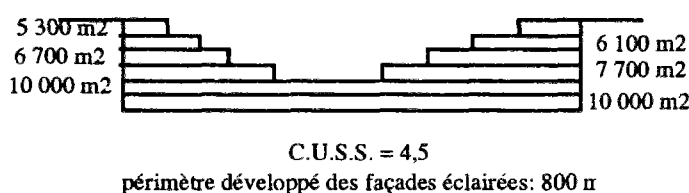


Figure 62. Calcul du coefficient d'utilisation du sous-sol (C.U.S.S.) pour une fouille de 100 m x 100 m et de 20 m de profondeur (six niveaux).

1. Occupation totale de la fouille.



2. Occupation partielle (cratère).

D'après : "Etudes préliminaires au schéma directeur de l'aménagement souterrain des Halles. Projet G.E.C.U.S.", *Monde souterrain* (155), juil.-août-sept. 1968, p. 168.

¹. "Transports : l'an 2001 en Ile-de-France", *La vie du rail*, hors série, août 1991, pp. 100-101.

². RONCAYOLO, *op. cit.*, p. 248.

³. *Ibid.*, *loc. cit.*

⁴. E. UTUDJIAN, "Conférence à la ligue urbaine et rurale (...)", *loc. cit.*

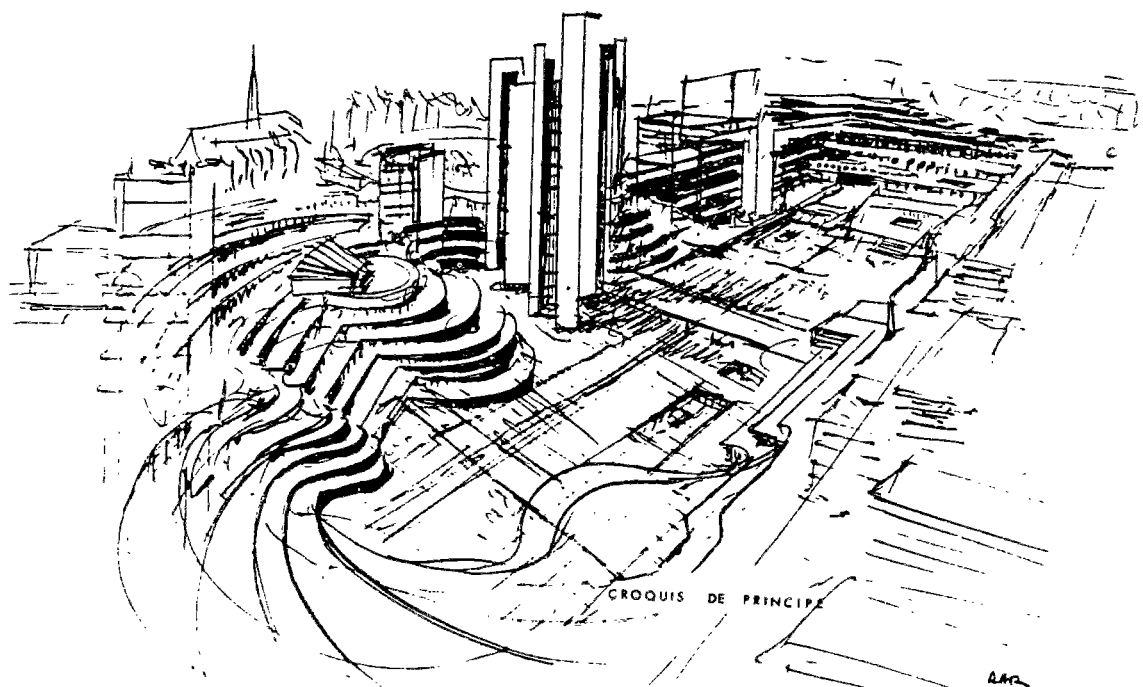
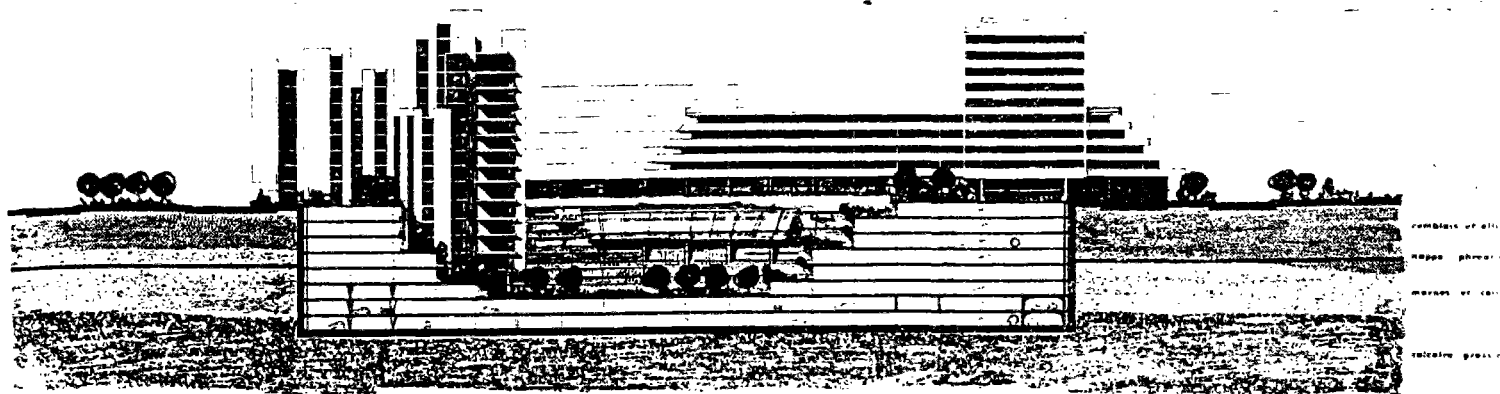


Figure 63. Le projet d'aménagement du quartier des Halles à Paris (1967).

Source : "Etudes préliminaires au schéma directeur de l'aménagement souterrain des Halles. Projet G.E.C.U.S.", *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (155), juil.-août-sept. 1968, pp. 163, 165.

Parallèlement, le Conseil de Paris lance en 1967 une consultation auprès de six architectes¹ qui rendent leurs maquettes au début de l'année suivante : en février, le Conseil de Paris refuse de choisir un projet plutôt que l'autre² et révisé ses positions ; le texte adopté en mars 1968 stipule que :

"les études [...] devront tendre à :

"L'allègement de la densité d'occupation des sols au profit de vastes espaces verts ;

"La conservation du patrimoine architectural du passé par la restauration et la réhabilitation [...]

"L'utilisation maximale du sous-sol, où devront prendre place, entre autres, certains équipements collectifs."³

Le G.E.C.U.S. élabore en effet (sous la direction d'E. Utudjian assisté de Renaud Heim de Balsac) une proposition théorique (théorique parce que le programme n'était alors pas clairement défini) d'aménagement du quartier afin de montrer les possibilités d'utilisation du sous-sol⁴ (figure 63). Le secteur est vaste : on peut donc envisager de réaliser de grandes fouilles à ciel ouvert, d'autant plus que le sous-sol est faiblement encombré (sauf par la ligne numéro 4 du métro, et la station Rambuteau à l'est, le périmètre s'étendant jusqu'au plateau Beaubourg). Le projet s'articule autour de deux volets :

- la "sauvegarde" : le diagnostic du patrimoine urbain peut conduire à plusieurs solutions : restauration légère, restauration lourde (conservation des façades seules), reconstruction en harmonie avec l'existant lorsque la conservation est impossible⁵ ;

1. Arretche, Charpentier, Faugeron, De Marien, Marot, et l'A.U.A. "Les Halles : le schéma d'aménagement de la zone de rénovation", *Paris projet* (1), juil. 1969, p. 21.

2. *Ibid.*, loc. cit.

3. "Pour l'aménagement du quartier des Halles : le texte adopté", *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (153), janv.-févr.-mars 1968, p. 42.

4. "Etudes préliminaires au schéma directeur de l'aménagement souterrain des Halles. Projet G.E.C.U.S.", *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (155), juil.-août-sept. 1968, pp. 153-168.

5. En outre, E. Utudjian ne doute pas de la découverte d'importants vestiges archéologiques lors des travaux, "Pourquoi, si c'est nécessaire, dit-il, ne créerait-on pas un musée archéologique *in situ* ?", J. BRICE, "l'aménagement des Halles" (faux titre) [paru dans *Le Figaro littéraire*], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (156), oct.-nov.-déc. 1968, p. 240. Les découvertes ont d'ailleurs été effectivement nombreuses : "312 pièces anciennes, une centaine de sarcophages dont 30 de l'époque mérovingienne. Les fragments de sculptures médiévales", etc. (J. GAGER, *Opération les Halles... (dans les coulisses)*, 1979, pp. 45-46, exempl. dactylogr.

- à l'emplacement des Halles et sur le plateau Beaubourg : utilisation du sous-sol avec une architecture de cratères permettant l'ensoleillement de certains locaux (bureaux, équipements publics, commerces), les parties aveugles étant réservées à la circulation, au stockage, aux locaux nécessairement conditionnés (salles informatiques, etc.).

L'écho auprès de la Commission permanente des Halles, présidée par le garde des Sceaux Capitant, est favorable : en effet, ses conclusions reprennent, le 23 octobre 1968, l'idée émise par le Préfet, M. Doublet, de créer au Halles un *forum*, "Nous y ajoutons seulement un élément nouveau, qui est de réaliser ce forum en sous-sol"¹.

La décision surprend — "L'invité de la onzième heure gagne la bataille des Halles", titre *Paris-presse L'intransigeant*² — et en consterne certains : évoquant les architectes Jean Faugeron et Louis de Marien, qui avaient proposé respectivement "un esthétique colisée géant de 230 mètres de diamètre [...] et un ensemble de perspectives rectilignes coupées par des espaces verts"³, *Paris Match* écrit : "l'un et l'autre viennent d'être renvoyés dos à dos par les conseillers de Paris in extremis par un outsider : l'architecture souterraine !" ⁴, ironique, il résume l'activité des membres du G.E.C.U.S. : "leur unique passion apparente : creuser des trous de plus en plus profonds tout en persuadant les citoyens que là est le remède à tous les maux."⁵ Le comble est atteint si l'on sait que les élus communistes réclament la construction de H.L.M. sur le plateau Beaubourg : "Il est vrai que le centre du commerce international [...] compensera peut-être [...] l'aspect prolétarien et troglodytique du quartier."⁶ Le

¹. "L'urbanisme souterrain au Conseil de paris : aménagement du secteur des Halles" [extrait des délibérations de la séance du 23 oct. 1968], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (156), oct.-nov.-déc. 1968, p. 210.

². F. BLANC, "L'invité de la onzième heure gagne la bataille des Halles" [paru dans *Paris-presse L'intransigeant*], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (156), oct.-nov.-déc. 1968, p. 241.

³. "Le Paris sous les Halles : la contestation commence" [paru dans *Paris Match* (1019), 16 nov. 1968], *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (156), oct.-nov.-déc. 1968, p. 239.

⁴. *Ibid.*, loc. cit.

⁵. *Ibid.*, loc. cit.

⁶. *Ibid.*, loc. cit.

salut, selon *Paris Match*, repose sur une intervention¹ du général de Gaulle, "fâcheusement surpris par la décision du Conseil de Paris."¹

En décembre 1968, l'Atelier Parisien d'Urbanisme est chargé d'établir le programme d'ensemble d'aménagement des Halles² : il est fondé sur les grands principes définis par le G.E.C.U.S. Par la suite de nombreux remaniements donneront au quartier sa forme actuelle, résidu d'une tentative d'application de la doctrine de l'urbanisme souterrain.

b) Autres travaux

Les activités du G.E.C.U.S. ne s'arrêtent pas aux projets parisiens : le groupe est "chargé d'établir un rapport sur un projet de réseau de voies souterraines de Londres"³ ; il ne pouvait passer à côté du rapport du député Marcel Boucher relatif au tunnel sous la Manche, en 1938 : il élabore un projet de liaison mixte ferroviaire et routière (la proposition Boucher concernait un tunnel ferroviaire uniquement, par ailleurs, A. Basdevant proposait un tunnel routier)⁴ et crée un "Comité du Tunnel Mixte sous le Pas-de-Calais (Liaison Fer et Route France-Angleterre)"⁵ ; il est consulté pour l'aménagement souterrain de La Défense⁶, et de plusieurs villes européennes.

Au-delà de projets ponctuels, le G.E.C.U.S. développe un "programme pour le développement des techniques de l'Union Souterraine"⁷. L'idée est présente dès le congrès de 1937⁸ et comprend plusieurs volets. A l'échelle internationale, il s'agit de promouvoir le C.P.I.U.S. et de créer un "**Bureau international du sous-sol**, chargé

¹. *Ibid.*, loc. cit

². "Les Halles (...)", loc. cit.

³. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., p. 6.

⁴. "Le tunnel sous la Manche", *Monde souterrain* (39-40), janv. 1940, pp. 215-227 ; (41-42), mars 1940, pp. 244-262.

⁵. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, loc. cit. Une partie du 3e congrès est d'ailleurs consacrée au tunnel sous la Manche (*Rapports au troisième congrès international des techniques et de l'urbanisme souterrain*, Bruxelles, sept. 1959, Paris : G.E.C.U.S., 1960, fasc. 4-5, pp. 49-80).

⁶. Et critique le manque de coordination du programme, certains bâtiments ayant été construits avant les prévisions d'aménagement du sous-sol ("4e congrès international de l'urbanisme souterrain et des techniques des travaux en sous-sol (...). Allocution d'E. Utudjian", op. cit., p. 159).

⁷. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...)*, op. cit., p. 7.

⁸. E. UTUDJIAN, M. UTUDJIAN, "L'organisation du sous-sol des villes (...)", op. cit.

des études, recherches et contrôles de l'Urbanisme Souterrain"¹ ; à l'échelle nationale, de :

- créer des commissions spécialisées d'aménagement souterrain des villes auprès des ministères intéressés² ;
- obliger les grandes villes à se doter "d'un plan géologique et hydro-géologique, d'un cadastre souterrain comportant les réseaux de canalisation [...], voies, égouts, chemins de fer, constructions, locaux, caves, carrières, etc... ainsi que du casier archéologique souterrain, formant les données statistiques nécessaires à l'aménagement souterrain des villes"³ ;
- obliger "les communes de plus de 50 000 habitants [à] avoir un plan général d'aménagement souterrain"⁴.

Ces mesures doivent s'accompagner de réflexions sur :

- la législation qui "ne devra jamais perdre de vue que le domaine qu'elle réglemente reste en connexion étroite avec la surface. Elle sera complétée par une réglementation propre à assurer la **sécurité, l'hygiène**, et le développement souterrain des cités"⁵ ;
- et l'esthétique souterraine, avec un effort en matière d'enseignement : "Une chaire d'Urbanisme Souterrain serait, de nos jours, à l'Université, non un défi à la raison, mais la preuve que l'esprit du corps enseignant tient à montrer sa compréhension de notre époque et de ses exigences."⁶

¹. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...), loc. cit.* Voir aussi : *Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain, op. cit.*, section IV : "Projet de statut pour le C.P.I.U.S."

². E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...), loc. cit.*

³. E. UTUDJIAN, M. UTUDJIAN, "L'organisation du sous-sol des villes", in : *Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain, op. cit.*, vol. 1, p. 1.6.

⁴. E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain (...), loc. cit.*

⁵. *Ibid.*

⁶. *Ibid.*

La législation fait en effet partie des préoccupations du G.E.C.U.S. et du C.P.I.U.S. dès l'origine : nous avons évoqué les propositions d'Armand Utudjian sur l'expropriation en tréfonds ; lors du premier congrès, une autre proposition est faite par Gaston Monsarrat : il s'agit de limiter la propriété du sous-sol en profondeur, la partie inférieure relevant du domaine public¹.

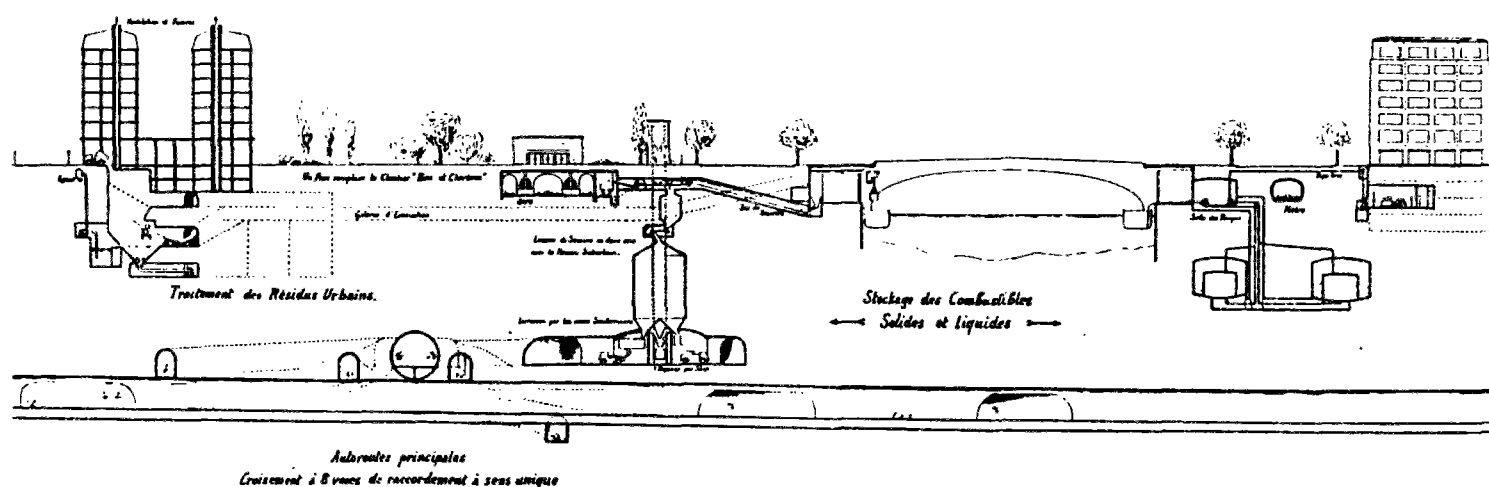


Figure 64. Essai de zoning souterrain dans un quartier d'entrepôts (1955).

Source : E. UTUDJIAN, *Conférences sur l'urbanisme souterrain. I : Technique des aménagements souterrains*, texte des 24 conférences données à l'E.N.S.B.A., Paris, [1959], p. 19.

¹. G. MONSARRAT, "Régime juridique des travaux d'urbanisme entrepris dans le sous-sol des propriétés particulières", in : *Premier congrès international d'urbanisme souterrain*, op. cit., 1ère section, fiche 11.

IV.2.3. LE DÉCLIN

Le G.E.C.U.S. ne survit pas à la mort d'Edouard Utudjian, en 1975 : *Le monde souterrain* cesse de paraître la même année, le dernier congrès international qui devait avoir lieu en 1972 puis 1973 est annulé. Il est vrai que le fondateur restait le principal animateur du groupe. Avec lui, c'est une génération qui disparaît ; mais on peut aussi expliquer ce déclin par la diversité des intérêts des personnes impliquées : de la *ville cavernée* à la gestion des réseaux techniques urbains, la palette des motivations était trop vaste pour qu'il y ait, au sein des congrès internationaux, accord entre les parties. En outre, *Le monde souterrain* publiait parfois des articles fantaisistes, faisant l'apologie des mondes souterrains¹, des habitations troglodytiques, etc. qui nuisaient probablement à la crédibilité du groupe.

Que le G.E.C.U.S. ait été un précurseur, pour le meilleur et pour le pire, ne fait pour nous aucun doute : dès l'origine, le métropolitain express est préconisé ; le concept de génie urbain est élaboré dès 1948² et l'on connaît son succès actuel ; la notion de coordination des travaux de voirie et réseaux divers est partout présente, alors que les services techniques des villes parviennent actuellement bien difficilement à la mettre en place ; la fluidité du trafic urbain demeure un rêve inaccessible et l'on étudie à nouveau les schémas de circulation souterraine ; on pourrait ainsi multiplier les exemples. Mais il nous semble que certaines des idées avancées sont, encore aujourd'hui, novatrices. La question de la législation souterraine est toujours de mise et la littérature continue à abonder sur la question des propriétés superposées³ ; quant au cadastre souterrain, il n'a pas vu le jour ; quand Argouges, en 1937, évoquait les désordres dus aux rabattements de nappes lors de divers travaux de génie civil et préconisait la création d'une caisse de

¹. Voir par exemple : BORNECQUE, "La civilisation nouvelle et l'âge souterrain", *Monde souterrain* (43), oct. 1947, pp. 6-7.

². "Functionally there is a remarkable similarity in the Public Utilities, all of which have the same object, namely, to furnish services to occupiers of premises. All have centralized plants, trunks mains and transmission lines, distribution systems and services. Therefore their planning methods should be very similar and given a proposed street plan showing the building blocks and their usage, figures for consumption and maximum demand for each service can be fairly accurately estimated on a present-day basis." (R. N. PEGG, "Public utilities", in : *Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain*, op. cit., vol. 1, p. I.40).

³. B. BIZET, "Constructions en sous-sol : le droit fait son trou", *M.T.P.B.*, 30 mars 1990, pp. 52-56.

compensation pour indemniser les propriétaires¹, il ne savait pas que la remontée du niveau des nappes sous Paris conduirait Philippe Diffre à proposer en 1979 que les autorités fixassent un niveau maximum et un niveau minimum pour la nappe qui permettraient de concilier exploitation de l'aquifère et pérennité des constructions souterraines, comme nous l'avons vu dans la première partie de ce travail².

Le déclin de l'urbanisme souterrain sous sa forme engagée et doctrinaire nous semble dû au fait que les réalisations ont vite pris le pas sur les mots : après la deuxième guerre mondiale, les équipements souterrains (centres commerciaux, parkings, tunnels routiers et ferroviaires, etc.) fleurissent dans toutes les grandes villes mondiales, l'argument économique suffisant seul à les justifier.

¹. ARGOUGES, "Au sujet des dégâts de surface dus aux travaux souterrains", in : *Premier congrès international d'urbanisme souterrain, op. cit.*, 1ère section, fiche 34.

². P. DIFFRE, "Désordres dus à la remontée du niveau des nappes peu profondes sous Paris", in : *Connaître le sous-sol, un atout pour l'aménagement urbain*, Orléans : B.R.G.M., 1979, vol. 1, p. 597. Cf. 1ère partie, § I.2.1.

**LES SOLS DE LA
VILLE**

L'essor des technologies et des techniques urbaines coïncide avec le développement de la Révolution industrielle et figure un nouveau mode de penser l'environnement, et plus particulièrement l'environnement urbain. La *nature urbaine* disparaît comme disparaît l'appréhension des matériaux qui deviennent minéraux. Le riche sol urbain des Lumières ne survit pas à sa dualité : s'il nourrit la ville (boues, salpêtre, vidanges, humidité artisanale), il la corrompt d'un même élan, il est le lieu des *décompositions révoltantes*, de la sépulture, du Purgatoire. La vivante peau deviendra poussière stérile au XIXe siècle — le roulage justifiant le macadam — avant de s'habiller de noir pour mieux cacher sa nature.

Il fallait aussi que la terre perde sa valeur religieuse, soit matérialisée, pour que, passée aux mains des ingénieurs dépourvus d'odorat, les techniques puissent investir l'espace public. Le réseau consacre l'inutilité du sol urbain dont on a vu qu'il fallait un siècle pour qu'elle soit admise ; il permet de s'affranchir de la nature puisqu'il ne suit pas le relief, la figure de la ville. Le réseau est une armature, une matière homogène qui flotte dans un semi-fluide informe.

• • •

L'histoire du sol urbain est aussi celle des déboires scientifiques : la ville est trop compliquée pour être appréhendée dans sa totalité mésologique. Les médecins, topographes des âmes, n'ont pas su tirer tout le parti de leurs enquêtes ; un moment aveuglés par la statistique, ils ont remplacé leur connaissance sensible de l'environnement par la froideur des chiffres. Il est vrai qu'il leur manquait un objet, que leur donnera Louis Pasteur, et une méthode, que Claude Bernard mettra en valeur. La médecine y a certainement, pour un temps seulement, gagné en efficacité.

A l'opposé, la mécanique des sols n'a pas le glorieux devenir de la médecine. La succession des modèles de poussée des terres révèle l'impossibilité — traduite aujourd'hui par les énormes coefficients de sécurité — d'en faire une mathématique appliquée, même lorsque la terre est homogène. En outre, si les premiers mécaniciens des sols auraient pu inventer une discipline urbaine, leur oubli du tassement a fait obstacle à la

reconnaissance de l'hétérogénéité de la ville. Quand la poussée souffre de trop de mathématique, la compressibilité relève de l'empirisme — la preuve en est que l'étude du comportement de l'eau dans le sol ne sera pas le fait de ses mécaniciens — et n'est jugulée que par des techniques toujours remises en question.

...

Nous avons souligné dans la première partie de ce travail certains manques, certains obstacles à la connaissance du sol urbain. L'absence de la médecine sur ce terrain, qui se traduit par la quasi disparition des chaires de santé publique dans les facultés, se lit parfaitement dans le décalage entre les topographies médicales et l'écologie urbaine. D'une part, il nous semble que l'on peut déceler une remarquable similitude entre la crainte de l'air humide et chaud des Lumières et celle, actuelle, de l'air sec et toujours chaud. En effet, en deux siècles la ville s'est asséchée par l'imperméabilisation de son sol, et tous les moyens sont bons pour la rendre fraîche et humide grâce à une salubre végétation. On a oublié les vapeurs délétères des palus et l'on méprise ces ingénieurs qui, au Premier Empire, ont asséché les marécages au détriment de la sauvegarde des écosystèmes naturels ; demain sera-t-il humide ? Comme l'écrit Augustin Berque, "ce qui est en cause, c'est bien *le sens de la relation de nos sociétés à l'espace et à la nature.*"¹

D'autre part, à la lumière de l'histoire, la notion de milieu telle qu'approchée aujourd'hui semble bien réductrice. La ville, dépourvue de ses rythmes biologiques et saisonniers, apparaît comme un milieu étale. On ne fait pas l'écologie d'une ville mais au mieux celle de la ville occidentale et au pire celle de la ville tout court. Il est vrai que par certains traits les villes occidentales se ressemblent : toutes sont imperméables, par conséquent (et aussi en raison de la consommation énergétique) plus chaudes que leur terroir, la végétation même diffère peu de Brest à Moscou². Mais on oublie le rôle de la

1. A. BERQUE, *Médiance : de milieux en paysages*, Montpellier : Reclus, 1990, p. 8.

2. Une comparaison portant sur neuf villes d'Europe de l'est et de l'ouest montre que 15% de la flore est commune aux neuf, et que 25 à 30% appartient à une flore urbaine générale. H. SUKKOP, H. HENKE, "Urban ecology as a basis for planning", in : G. WEIGMANN (ed.), *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*, rapport du groupe de travail de Berlin, sept. 1986, Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere" (coll. "MAB-Mitteilungen", 30), oct. 1989, p. 147.

géographie locale qui rendait Marseille si différente de Paris, qui permettait de distinguer chaque quartier de Rouen¹.

En revanche, au XVIII^e siècle le sol est indissociable de l'air auquel il communique ses miasmes. La ville est ainsi percée dans sa verticalité, par les médecins comme par les géographes. Dès le XIX^e siècle, on oublie ces interfaces, ces écotones, entre la terre et l'air, la ville et ses abords. Le sol peut être relégué à une fonction de filtre commode. Pourtant, s'il est aujourd'hui caché, le sol urbain n'en est pas moins vivant. Il garde la mémoire de la ville et des hommes qui l'ont faite, mémoire organique des dépotoirs et des sépultures, chimique de la Révolution industrielle, mécanique des charges qu'il a portées. Seul un regard historique et mésologique peut en révéler la complexité et l'épaisseur, comme l'avait si bien compris Pierre-Simon Girard.

• • •

De la notion de milieu à celle de coût généralisé il n'y a qu'un pas, pourtant difficile à franchir. Ainsi, nous essayons de mettre en place dans la ville de Montreuil-sous-Bois un Observatoire de l'influence des opérations d'urbanisme sur le comportement à long terme des réseaux de voirie urbaine². La problématique en est simple : il s'agit d'évaluer les effets induits par les chantiers urbains sur la voirie environnante, notamment en raison du surcroît de trafic lourd³. La difficulté de la définition des paramètres à prendre en compte⁴ traduit le désarroi des gestionnaires de réseau quels qu'ils soient face à la complexité d'un contexte géotechnique urbain (présence de gypse et d'argiles plastiques, hydrogéologie affectée par l'urbanisation, carrières, déconsolidation des sols sous

¹. Peut-être que les approches françaises manquent de scientificité, mais force est de constater que la recherche environnementale est curieusement absente du milieu urbain. Le Programme Environnement (PIREN) du C.N.R.S. comprenait à l'origine un volet "milieu urbain" : il a rapidement sombré dans un marasme inextricable. Lors du bilan du programme "Histoire de l'environnement et des phénomènes naturels" (qui dépendait lui aussi du PIREN), en mars 1991, nous avons souligné que la grande absente de ces journées était la ville. D'aucuns nous avaient vertement répondu que le titre du programme l'en excluait d'office. La ville ne fait pas partie de l'environnement, serait-ce un phénomène surnaturel ?

². Convention entre la ville de Montreuil-sous-Bois (Seine-Saint-Denis), le Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et le laboratoire Théorie des Mutations Urbaines (U.R.A. C.N.R.S. 1 244), avec le soutien du Plan Urbain (ministère de l'Équipement).

³. On trouvera dans l'annexe 2 une brève note de présentation de l'Observatoire qui repose sur la base de données ORAGE évoquée au cours de la première partie, § I.1.2, pp. 30-32.

⁴. Un inventaire provisoire des modalités retenues figure en annexe 3.

chaussée) dans une trame urbaine en mutation (plus de cinquante Zones d'Aménagement Concertées en cours ou approuvées). Dans cette approche plutôt mécaniste du sol de Montreuil, on n'a pas encore établi les paramètres biologiques ou au moins chimiques qui pourraient entrer en ligne de compte, ne serait-ce qu'en ce qui concerne les plantations d'alignement.

A l'échelle nationale et internationale, la pauvreté scientifique des colloques consacrés à l'urbanisme souterrain¹ comme les difficultés qu'éprouvent l'Association Française des Travaux en Souterrain (A.F.T.E.S.) et l'Association Internationale du même nom (A.I.T.E.S.)² à prendre position dans le champ urbain corroborent l'analyse faite pour Montreuil. De nombreuses questions demeurent en effet posées relativement à la construction, l'entretien ou la gestion des espaces souterrains, toujours considérés comme inanimés. Si Espace souterrain, association française créée en 1988, milite pour "que l'utilisation du sous-sol soit soumise aux mêmes règles d'urbanisme que les constructions de surface"³, *i. e.* au P.O.S. et au S.D.A.U., on en est loin dans les faits. On sait très peu de la pérennité des ouvrages dans l'environnement géotechnique particulièrement défavorable qu'est le sol urbain, et pourtant le Grand Louvre connaît déjà des désordres dus à l'agressivité des eaux souterraines. Le problème de la sécurité ne laisse pas d'être préoccupant, explosions et incendies se soldant toujours par de nombreuses victimes. Enfin, l'utilité publique de certaines infrastructures souterraines n'est pas démontrée⁴. Tout le débat animé par le G.E.C.U.S. émerge à nouveau.

¹. Voir notamment les deux derniers d'entre eux : *Urban Underground Utilization '91 : 4th international conference on underground space and earth sheltered buildings*, actes du colloque de Tokyo, 3-5 déc. 1991, Tokyo : Urban Underground Space Center of Japan, [1991] ; L. L. BOYER (ed.), *5th International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Structures*, actes du colloque de Delft, 3-5 Août 1992, Delft : Delft University Press, 1992.

². L'A.F.T.E.S. est fondée le 7 janvier 1972, précisément au moment où décline le G.E.C.U.S. Elle comprend déjà 250 membres dont 111 collectifs au mois de décembre de la même année. L'Association Internationale des Travaux en Souterrain (A.I.T.E.S.) est créée en 1974. "Association Internationale des Travaux en Souterrain", *T.O.S.* (4), juil.-août 1974, p. 161. L'A.F.T.E.S., association puissante qui regroupe les maîtres d'œuvre du sous-sol, s'est dans un premier temps quelque peu intéressée à la ville (voir : "A.F.T.E.S. Groupe de travail Utilisation du sous-sol urbain (...)", *T.O.S.* (23), sept.-oct. 1977, pp. 215-220 ; (24), nov.-déc. 1977, pp. 251-263 ; (25), janv.-févr. 1978, pp. 10-18.), mais a rapidement préféré les grands ouvrages routiers comme en témoigne le titre de son organe, *Tunnels et ouvrages souterrains*, dont le premier numéro paraît en 1974.

³. "Pour un schéma directeur du sous-sol", *M.T.P.B.*, 18 août 1989, p. 6.

⁴. La capacité d'une voie souterraine est nécessairement inférieure à celle d'une voie de surface en raison des contraintes de sécurité. Quel peut donc être le rôle des autoroutes souterraines dans le désengorgement de la surface ?

...

En effet, si les dysfonctionnements que nous avons mis en exergue pour le second XIXe siècle ont été endigués, la ville d'aujourd'hui craque de toute part. La rareté de l'espace conduit de plus en plus souvent à envisager la solution souterraine pour la construction des infrastructures ; le Japon constitue la référence en la matière, dans un pays où le déblai permet en outre de gagner sur la mer et où les risques sismiques conduisent les autorités à stocker un maximum d'informations relatives au support de la ville. En Europe, l'option souterraine est malgré tout regardée avec méfiance : le lieu du Purgatoire n'est pas celui des vivants. Elle est surtout promue par des associations d'adeptes désintéressés sur lesquels s'appuient les entreprises de travaux publics qui voient là un nouveau marché à investir. Quoi qu'il en soit, le sous-sol sera toujours plus sollicité : si la *ville cavernée* reste hypothétique, rien ne peut empêcher la multiplication des réseaux, des parcs de stationnement, des voies enterrées. Aux questions que nous avons déjà évoquées, s'ajoute celle de la valeur patrimoniale du sol industriel, généralement réduit à sa fonction de contenant des infrastructures.

Par ailleurs, il est certain que la médecine ne peut plus ignorer le milieu urbain. La terre infecte transpirera-t-elle dans les lieux souterrains ? Il est remarquable que l'une des justifications avancées par les promoteurs de l'urbanisme souterrain soit la protection de l'environnement : le sous-sol libère la surface, on peut y cacher les déchets encombrants — le puits d'absorption a fait date. Les conséquences sont des plus alarmantes : le problème de la pollution des sols a amené les juristes à introduire une nouvelle notion, celle de *préjudice de développement* "qui résulte des effets nocifs d'un produit indécélables à l'instant où ce produit est mis sur le marché ou ce procédé utilisé. Il s'apparente à un vice caché [...]. On ne saurait l'assimiler à un préjudice futur : à l'instant où le mal se déclare il est actuel, et jusque-là, inconnu, il n'existe pas. [...]"¹ On peut en faire une lecture différente : le préjudice de développement traduit non seulement la méconnaissance des processus de diffusion des polluants, mais aussi le laisser-faire des scientifiques dont la caution s'est instaurée au XIXe siècle, en même temps que s'est institutionnalisée la recherche.

¹. M. REMOND-GOUILLOU, "Réparation du préjudice écologique", in : *Juris-Classeurs*, Paris : Ed. Techniques, 1992, fasc. 1 060, p. 12.

Ne soyons pas catastrophiste. Il semble que la situation soit sur le point de changer. Les premiers témoignages en sont la création du Groupe de recherche "Réseaux", puis la toute récente mise en place par le C.N.R.S. du programme interdisciplinaire de recherche sur la ville (PIR-Ville), où la médecine a sa place¹, le lancement, par les ministères de l'Équipement et de l'Environnement, de l'appel d'offres "La ville au risque de l'écologie", bientôt peut-être celui d'un Groupe de recherche "Sol urbain". Mais toutes les disciplines impliquées auront à refaire l'apprentissage du milieu dans lequel elles ont pourtant si longtemps œuvré.

¹. La médecine se sensibilise à nouveau à l'environnement, en témoigne la récente parution d'un ouvrage sur ce thème, dus à deux médecins : S. DEOUX, P. DEOUX, *L'écologie, c'est la santé*, Paris : Frison-Roche, 1993.

ANNEXES

**ANNEXE 1 : ESSOR ET DÉCADENCE DU NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE
(XVIII^E-XIX^E SIECLE)**

ESSOR ET DÉCADENCE DU NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE (XVIII^e-XIX^e SIECLE)

Numa Broc a montré et analysé l'intérêt du XVIII^e siècle pour les hauteurs, intérêt qui "suppose des changements profonds dans les attitudes et les mentalités collectives, une véritable révolution du sentiment"¹ et représente "une forme exaltée du sentiment de la nature"² ; dans ce contexte, "La mesure des altitudes est la première approche véritablement scientifique à la connaissance des montagnes. Là où les siècles précédents se contentaient d'évaluations fantaisistes, le XVIII^e siècle va substituer une volonté de précision, et faire de l'altimétrie une des bases de l'orographie."³ Il est vrai que les méthodes de mesure des cimes étaient auparavant pour le moins approximatives (distance de perception, mesure de l'ombre, lieues de trajet), ce qu'aggravaient la diversité des unités de mesure et des plans de comparaison⁴. Le XVIII^e siècle verra le début des nivellements trigonométriques et directs, et surtout le développement du nivellement barométrique.

Broc a analysé les résultats obtenus lors de ces diverses opérations altimétriques⁵. Nous ne reprendrons pas ici son travail mais nous insisterons sur les différentes méthodes adoptées pour évaluer la différence de hauteur entre deux points à partir de l'élévation du vif argent.

Pascal, à la suite de ses expériences de 1646 au Puy de Dôme, met en évidence la variation de la hauteur du mercure avec l'altitude. Il l'expose dans son *Traité de l'équilibre des liqueurs* (...) :

"comme nous voyons qu'en tous lieux qui sont à même niveau, l'eau s'élève à pareille hauteur et qu'elle s'élève moins en ceux qui sont plus élevés [...] on peut juger par cette différence combien l'un est plus élevé que l'autre, ce qui est un moyen de niveler les lieux, quelque éloignés qu'ils

¹. N. BROC, *Les montagnes au siècle des lumières : perception et représentation*, 2e éd. [1ère éd. 1969], Paris : Ed. du C.T.H.S., 1991, p. 15.

². *Ibid.*, p. 16.

³. *Ibid.*, p. 71.

⁴. *Ibid.*, p. 72.

⁵. *Ibid.*, chap. III : "La hauteur des montagnes".

soient [...], il ne faut que prendre un tuyau de trois à quatre pieds, plein de vif argent [...] et voir à quelle hauteur il demeure suspendu"¹.

Les premières formules ne seront cependant établies qu'au XVIII^e siècle. Au cours de la détermination de la méridienne, Cassini se livre à de nombreuses observations barométriques, plus pour connaître l'évolution de la pesanteur de l'air que la hauteur des points considérés. A cette occasion, Maraldi propose une conversion très simple : "On suppose qu'au bord de la mer la hauteur de l'air qui convient à une ligne de vif argent soit de 61 pieds [...] ; que la hauteur qui convient à la seconde ligne, soit d'un pied plus grande que la première, la troisième un pied plus grande que la première, la troisième un pied plus grande que la seconde, ainsi de suite"², que nous pouvons transcrire en langage mathématique afin de l'exploiter :

- soit n la différence de hauteur (en lignes) entre les deux baromètres, on a :
- valeur de la première ligne de mercure : $V_1 = 61$ pieds ;
- valeur de la i -ème ligne : $V_i = V_{i-1} + 1 = V_1 + i - 1$ pieds ;
- pour une différence de n lignes, la différence d'altitude est :

$$U_n = \sum_{i=1}^n V_i = n U_1 + \sum_{i=1}^{n-1} i = n U_1 + \frac{n(n-1)}{2} = U_{n-1} + U_1 + n - 1 \quad (\text{I})$$

Maraldi confronte ses résultats à des observations menées par Cassini à Marseille et de la Hire à Toulon (tableau 48) : ils sont d'une qualité surprenante, si l'on en juge par les simplifications qui sont faites : le cumul des erreurs joue probablement en sa faveur.

¹. PASCAL, *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*, Paris, 1663, cité par LEVALLOIS, *Mesurer la terre (...)*, Paris : Presses de l'E.N.P.C., p. 119.

². MARALDI, "Expériences du baromètre faites sur diverses Montagnes de France", *M.A.R.S.*, 1703, p. 233.

Tableau 48. Comparaison des valeurs théoriques de la formule barométrique de Maraldi avec les hauteurs observées.

Différence de hauteur entre les deux points (toises)	178	257	408	648	851
Variation théorique du baromètre (lignes)	15 li 2/3	21 li 8/9	32 li 1/6	46 li 5/7	57 li 7/8
Variation observée (lignes)	16 li 1/3	21 li 1/2	32 li 1/6	46 li 1/2	57 li 5/6

D'après : MARALDI, "Expériences du baromètre faites sur diverses Montagnes de France", M.A.R.S., 1703, pp. 233-234.

Si Halley fournit le premier semble-t-il une formule logarithmique de mesure des hauteurs par le baromètre, de même que Bouguer qui propose en 1729, pour ses mesures péruviennes, l'équation suivante (où la différence de niveau entre les deux points est exprimée en toises)¹ :

$$z = 10\,000 \left(\frac{29}{30} \log \frac{P_2}{P_1} \right);$$

il faut attendre Jean-André Deluc, ses travaux de terrain et ses *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, publiées en 1772², pour qu'un premier paramètre, en l'occurrence la température de l'air, soit pris en compte. Tout le problème revient à trouver la loi de décroissance de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude³ :

- soit z la hauteur à mesurer, ρ la densité de l'air, θ la température ;
- à la station inférieure, le baromètre a une hauteur h' , la pression atmosphérique est p' , la température de l'air t' ;
- à la station supérieure, la hauteur du baromètre est h , la pression atmosphérique p , la température de l'air t ;

on a : $dp = - g \rho dz$; or, $p = k g \theta \rho$, où le produit $(k g)$ est une constante à déterminer

¹. LEVALLOIS, *op. cit.*, p. 120.

². J. A. DELUC, *Recherches sur les modifications de l'atmosphère*, Genève, 1772.

³. D'après L. B. FRANCŒUR, *Traité élémentaire de mécanique (...)*, Paris, 1807, pp. 443-444.

$$\text{donc } \frac{dp}{p} = -\frac{dz}{k\theta} \quad \text{et} \quad \ln \frac{p'}{p} = \int_0^z \frac{dz}{k\theta}$$

$$\text{or, } \frac{p'}{p} = \frac{h'}{h}$$

$$\text{d'où : } k \ln \frac{h'}{h} = \int_0^z \frac{dz}{\theta}$$

• pour une température constante et donnée, la formule devient simplement :

$$z = k \ln \frac{h'}{h}$$

C'est la solution adoptée par Deluc, qui trouve $k = 10\,000$ avec $\theta = 16^{\circ}\frac{3}{4}$ (degrés Réaumur) ; de plus, en estimant la variation de volume de l'air à $\frac{1}{215}$ par degré, la formule devient :

$$z = 10\,000 \left(1 \pm \frac{\theta'}{215} \right) \ln \frac{h'}{h} \quad (\text{II})$$

où θ' est la différence entre la température de référence et la température moyenne entre les deux stations, soit $\theta' = 16^{\circ}\frac{3}{4} - \left(\frac{t + t'}{2} \right)$

Outre qu'elle simplifie à l'extrême l'influence de la température sur la dilatation de l'air, cette formule fait abstraction de la variation de la pesanteur et de la dilatation du mercure, facteurs qui seront pris en compte par Laplace en 1805, dont la "solution très-élégante"¹ peut-être considérée comme définitive². Nous reprenons ici l'esprit de sa démonstration, en ne modifiant que les notations afin de les homogénéiser avec les précédentes :

¹. *Ibid.*, p. 445.

². P. S. LAPLACE, *Œuvres complètes publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences par MM. les secrétaires perpétuels*, Paris, 1878-1912, vol. IV, 1880, seconde partie, livre X, chap. IV du *Traité de mécanique céleste* : "De la mesure des hauteurs par le baromètre".

- en conservant les mêmes notations que ci-dessus, on ajoute :
- soit a la distance au centre de la terre de la station inférieure, g' la pesanteur à cette station, g la pesanteur à la station supérieure ;
- on a toujours : $dp = -g \rho dz$
- on pose cette fois-ci $p = K \theta \rho$, où K est la constante à déterminer (on ne peut plus simplifier par g)

$$\text{d'où } \frac{dp}{p} = -\frac{g dz}{K\theta} \quad \text{et} \quad K \log \frac{p'}{p} = \int_0^z \frac{g dz}{\theta}$$

(l'emploi des logarithmes de base dix n'a qu'une influence sur K)

$$\text{or, } g \approx g' \frac{a^2}{(a+z)^2} \approx g' \left(1 - \frac{2z}{a}\right)$$

$$\text{on pose } z' = z \left(1 - \frac{z}{a}\right), \text{ on a alors } dz' = \left(1 - \frac{2z}{a}\right) dz$$

$$\text{donc } \int_0^z \frac{g dz}{\theta} = g' \int_0^{z'} \frac{dz'}{\theta}$$

Les hauteurs à mesurer étant faibles par rapport à l'épaisseur de la couche atmosphérique, on approche la fonction $\theta(z)$ par une progression arithmétique telle que :

$$\theta = \sqrt{q^2 - iz'}, \text{ avec } i \text{ tel que } \theta \text{ représente la température } \textit{absolue}^1 \text{ de la station supérieure, } q \text{ celle de la station inférieure, donc } i = \frac{q^2 - \theta^2}{z'}$$

¹. Il ne s'agit pas à proprement parler de température absolue telle que nous l'entendons aujourd'hui. Le problème posé ici est d'établir une équation aux dimensions, en tenant compte des unités de mesure de pression et de température en usage à l'époque. Rappelons que depuis Newton l'origine des températures est définie "par un phénomène physique facile à reproduire dans des conditions identiques, la fusion de la glace ; mais le degré de son thermomètre était encore une fraction du volume à zéro, définie numériquement.

"- Fahrenheit remplaça cette définition numérique par l'introduction d'un deuxième point fixe, caractérisé par l'ébullition de l'eau sous une pression déterminée, la pression normale de 760 millimètres. [...]

"En donnant des valeurs diverses à la fraction qui caractérise la valeur absolue du degré, définie comme on vient de le dire, on obtient : *l'échelle centigrade*, dans laquelle l'intervalle des deux points fixes est divisé en 100 parties égales ; *l'échelle de Réaumur*, dans laquelle cet intervalle est divisé en 80

.../...

$$\text{on a alors } \int_0^{z'} \frac{dz'}{\theta} = \int_0^{z'} \frac{dz'}{\sqrt{q^2 - i z'}} = \frac{2}{i} (q - \theta) = \frac{2 z'}{q + \theta}$$

$$\text{et donc } z' = \frac{q + \theta}{2} \frac{K}{g'} \log \frac{p'}{p}$$

Soit L la température de la glace fondante, on pose $q = L + t$ et $\theta = L + t'$ (t et t' étant exprimés en degrés centigrades)

$$\text{il vient : } z' = L \left(1 + \frac{t + t'}{2L} \right) \frac{K}{g'} \log \frac{p'}{p}$$

p' et p sont déduites des hauteurs h' et h des deux baromètres, que l'on doit réduire à la même température et à la même pesanteur terrestre :

- les expériences de Laplace et Lavoisier montrant que le mercure se dilate de $\frac{1}{5412}$ par degré centigrade, il faut corriger h du facteur

$$F = \left(\frac{t'_b - t_b}{5412} + 1 \right)$$

où t_b et t'_b sont les températures respectives des baromètres supérieur et inférieur (en effet, "la température du mercure du baromètre n'étant pas exactement toujours celle de l'air ambiant, on fait usage, pour la déterminer, d'un thermomètre enchâssé dans la monture même du baromètre"¹⁾);

- en outre, nous avons vu que $g = g' \frac{a^2}{(a + z)^2}$, on a donc :

$$\log \frac{p'}{p} = \log \frac{h'}{F h} \left(1 + \frac{z}{a} \right)^2 = \log \frac{h'}{F h} + 2 \log \left(1 + \frac{z}{a} \right)$$

$$\text{or } \frac{z}{a} \text{ tend vers } \epsilon, \text{ d'où } \ln \left(1 + \frac{z}{a} \right) \approx \frac{z}{a} \text{ et } \log \left(1 + \frac{z}{a} \right) \approx 0,4342945 \frac{z}{a}$$

On a alors :

parties égales ; l'échelle de Fahrenheit, dans laquelle ce même intervalle est divisé en 180 parties égales ; seulement, dans cette dernière, le point de fusion de la glace correspond à la température 32 degrés" (E. VERDET, *Cours de physique professé à l'école polytechnique*, Paris, 1868, p. 6).

¹. LAPLACE, *op. cit.*, vol. IV, p. 292.

$$z' = L \left(1 + \frac{t + t'}{2 L} \right) \frac{K}{g'} \left(\log \frac{h'}{F h} + 0,868589 \frac{z}{a} \right)$$

$$\text{or } z' = z \left(1 - \frac{z}{a} \right), \text{ d'où } z \approx z' \left(1 + \frac{z}{a} \right)$$

$$\text{donc } z = L \left(1 + \frac{t + t'}{2 L} \right) \frac{K}{g'} \left(\log \frac{h'}{F h} + 0,868589 \frac{z}{a} \right) \left(1 + \frac{z}{a} \right)$$

• Détermination de L :

soit P la pression atmosphérique à 0° centigrade, $P = K L \rho$; un accroissement de température de 1° entraîne une augmentation de pression $K \rho = \frac{P}{L}$; or, on sait qu'à volume constant, et pour le même accroissement de température $p = P + 0,00375 P$, donc $L = \frac{1}{0,00375}$

• D'autre part, Louis-François Ramond de Carbonnières a trouvé, par ses nombreuses observations¹ :

$$\frac{K L}{g'} = 18\,336 \text{ m, pour le parallèle de } 50 \text{ degrés}$$

or, la pesanteur varie avec la latitude ψ selon la loi :

$$g = g_0 \left(1 + \frac{0,004208}{0,739502} \sin^2 \psi \right), \text{ où } g_0 \text{ est la pesanteur à l'équateur}$$

La formule de Laplace devient donc :

$$z = 18\,336 (1 + 0,002845 \cos 2 \psi) \left(1 + 0,00375 \frac{t + t'}{2} \right) \left(\log \frac{h'}{F h} + 0,868589 \frac{z}{a} \right) \left(1 + \frac{z}{a} \right) \quad (\text{III})$$

¹. L. F. RAMOND de CARBONNIERES, *Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique céleste et les dispositions de l'atmosphère qui en modifient les propriétés augmentés d'une instruction élémentaire et pratique, destinée à servir de guide dans les applications du baromètre à la mesure des hauteurs*, Clermont-Ferrand, 1811, xij+275 p. Cette détermination expérimentale a été confirmée par la suite : Biot et Arago "ayant eu occasion d'établir rigoureusement le rapport des poids spécifiques entre l'air sec et le mercure, à la température 0°, et sous la pression de 0m,76, en ont ensuite conclu à priori le coefficient de la formule, et l'ont trouvé de 18 334 : concordance admirable, qui prouve de manière positive l'exactitude de cette formule." F. S. BEUDANT, *Traité élémentaire de physique*, 6e éd., Paris, 1838, p. 354.

Laplace la présente sous cette forme¹ :

$$z = 18\,336 \left(1 + 0,002845 \cos 2 \psi\right) \left(1 + 0,00375 \frac{t + t'}{2}\right) \left(\left(1 + \frac{z}{a}\right) \log \frac{h'}{F h} + 0,868589 \frac{z}{a} \right) \quad (\text{IV})$$

où $\left(1 + \frac{z}{a}\right)$ n'est pas mis en facteur.

On remarque que les formules (III) et (IV) ne sont valables que si la constante définie par Ramond correspond au parallèle de 45° et non de 50° comme le dit Laplace².

En outre, pour tenir compte de l'humidité de l'air, "car la vapeur aqueuse est plus légère que l'air et l'accroissement de température en accroît la quantité, toutes choses égales par ailleurs"³, on remplace généralement le coefficient 0,00375 par 0,004.

Dans les équations (III) et (IV), z est présent dans les deux membres. En pratique, le calcul se fait par itérations, en prenant dans un premier temps $\frac{z}{a} = 0$, on trouve ainsi z_1 que l'on réintroduit dans la formule complète, et ainsi de suite jusqu'à z_n (nous verrons que la convergence est rapide). Lorsque la station inférieure correspond au niveau de la mer, $a = 6\,366\,198$ m (rayon de la terre).

Par ailleurs, les formules utilisées font souvent abstraction de la variation de la pesanteur terrestre, ce qui simplifie considérablement l'équation qui devient⁴ :

$$z = 18\,336 \left(1 + \frac{t' + t}{500}\right) \log \left(\frac{h'}{h} \frac{1}{1 + \frac{t'_b - t_b}{5412}} \right) \quad (\text{V})$$

Selon Ramond⁵, on peut en effet négliger $\frac{z}{a}$ pour z faible, le premier coefficient devient alors 18 393 m et l'équation (III) :

¹. LAPLACE, *op. cit.*, vol IV, p. 293.

². *Ibid.*, vol. IV, p. 291.

³. *Ibid.*, vol. IV, p. 294, voir aussi FRANCŒUR, *Géodésie ou figure de la terre et de ses parties ; comprenant la topographie, l'arpentage, le nivellement, la géomorphie terrestre et astronomique, la construction des cartes, la navigation*. 6e éd. augm. par le commandant Perrier. Paris, 1879, p. 246.

⁴. FRANCŒUR, *Traité élémentaire de mécanique (...)*, *op. cit.*, p. 447.

⁵. FRANCŒUR, *Géodésie (...)*, *op. cit.*, p. 247.

$$z = 18\,393 (1 + 0,002845 \cos 2 \psi) \left(1 + \frac{t + t'}{500}\right) \log \frac{h'}{F h} \quad (\text{VI})$$

A partir de l'équation simplifiée de Laplace, Oltmanns a donné des tables, les plus simples et les plus exactes, d'après F. S. Beudant¹, permettant de réduire les calculs. A partir de $h, h', t, t', t_b, t'_b, \psi$, une première table permet de convertir h et h' en altitudes approchées et la seconde de ramener les baromètres à la même température, on y ajoute la prise en compte de la différence de température de l'air, la dernière table corrige l'altitude en fonction de la latitude (VII)².

La formule de Laplace reste la base du calcul des hauteurs par le mercure. Elle sera cependant perfectionnée par la suite, par exemple avec la prise en compte de la dilatation du laiton de l'échelle du baromètre. L'*Annuaire du bureau des longitudes pour l'an 1852* propose la formule suivante³ :

$$z = 18\,336 (1 + 0,00265 \cos 2 \psi) \left(1 + \frac{t + t'}{500}\right) \left(\log \frac{h'}{F' h}\right) \left(1 + \frac{z + 15926}{6366198} + \frac{s}{3183099}\right) \quad (\text{VIII})$$

où z est la différence de niveau entre les deux stations, s la hauteur de la station inférieure au-dessus du niveau de la mer.

On remarque, par rapport à l'équation (III) : une légère modification du coefficient affectant la latitude du lieu, et la transformation du coefficient F en F' (réduction des baromètres à la même température) où l'on corrige la dilatation du mercure ($\frac{1}{5555}$ par degré, et non plus $\frac{1}{5412}$) de celle du laiton ($\frac{1}{53248}$ par degré):

$$F' = \left(\frac{t'_b - t_b}{6200} + 1\right)$$

¹. BEUDANT, *op. cit.*, p. 357.

². "Table des hauteurs des points les plus remarquables du globe", in : *A.B.L. pour l'an 1813*, Paris, 1812, pp. 169-191.

³. "Tables pour calculer les hauteurs par les observations barométriques", in : *A.B.L. pour l'an 1852*, Paris, 1851, p. 242.

De nouvelles tables sont proposées (IX)¹, qui permettent en outre de prendre en compte les altitudes supérieures à 6 000 m.

Tableau 49. Comparaison des résultats obtenus par les différentes formules du nivellement barométrique.

	latitude °	station inférieure (mer)			station supérieure		
		t' °	t _b °	h' m	t °	t _b °	h m
Exemple 1*	45	19,625	18,625	0,735581	4	9,75	0,537203
Exemple 2*	45	28,25	28,25	0,7385	- 2,87	- 2,87	0,4342
Exemple 3**	21	25,3	25,3	0,76315	21,3	21,3	0,60095

* D'après L. B. FRANCŒUR, *Traité élémentaire de mécanique (...)*, Paris, 1807, p. 449 ; on ajoute les hypothèses suivantes : la station inférieure est au niveau de la mer (d'où $a = 6\,366\,198$ m, rayon de la terre), la latitude est de 45° (d'où $\cos 2\psi = 0$).

** D'après la "Table des hauteurs des points les plus remarquables du globe", in : A. B. L. pour l'an 1813, Paris, 1812, p. 191 ; hauteur du Guanaxuato, mesurée par Alexandre von Humboldt.

Résultats (m)	Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3
(I) Maraldi	2 987	5 613	2 257
(II) Deluc*	3 036	5 148	2 368
(III) Laplace	2 607,84 (3 itérations)	4 397,39 (3 itérations)	2 073,30 (4 itérations)
(IV) Laplace	2 607,83 (4 itérations)	4 397,38 (4 itérations)	2 073,30 (4 itérations)
(V) Francœur	2 607,31	4 396,10	2 073,66
(VI) Ramond	2 615,41	4 409,77	2 084,50
(VII) ABL 1813 (tables)	2 615,23	4 428,55**	2 084,3
(VIII) ABL 1852	2 616,64 (4 itérations)	4 416,25 (4 itérations)	2 084,44 (4 itérations)
(IX) ABL 1852 (tables)	2 616,6	4 416,02	2 084,4

* Avec conversion préalable des degrés centigrades en degrés Réaumur.

** Les tables s'arrêtent à $t_b - t_b = 19,8^\circ$, or dans ce cas, $t_b - t_b = 31,12^\circ$.

Le tableau 49 donne, pour trois exemples, les résultats trouvés selon les neuf équations ou méthodes évoquées (elles ne sont pas les seules², mais demeurent les

¹. *Ibid.*, pp. 242-257.

². Par exemple, Littrow et Lindenau proposent de poser, lorsque la station inférieure est au niveau de la mer : $h' = 760,247$ mm, $t' = 66^\circ 25' + t - 0,09235$ h, "ces formules, qui dispensent des observations à la station inférieure, seraient fort commodes si elles étaient exactes. Mais il ne paraît pas qu'on puisse y avoir confiance, et nous ne présentons ici cette remarque que comme un sujet de recherches." (FRANCŒUR, *Géodésie (...), op. cit.*, p. 248). Plus tard, Babinet a donné une version simplifiée de l'équation de Laplace, valable pour le parallèle de 45° et de petites différences d'altitude :

.../...

principales utilisées, toutes dérivant de la formule de Laplace à partir de 1805). On voit que les formules de Maraldi et Deluc fournissent des résultats tout à fait différents des autres méthodes, ce qui n'est pas surprenant, et que les méthodes (III) à (V) d'une part, (VI) à (IX) d'autre part, forment deux familles distinctes au sein desquelles les résultats sont très proches, surtout pour les exemples 1 et 3 (altitudes les plus faibles).

Trois remarques s'imposent : la première concerne l'établissement de l'équation. On voit qu'en dernière analyse, la latitude exceptée, la seule variable est l'altitude, qui affecte tous les paramètres. La démarche de Laplace apparaît dès lors comme relativement laborieuse, puisque ce dernier intègre les paramètres au fur et à mesure de la résolution, au lieu de donner dès le départ l'équation différentielle générale de la variation de la pression en fonction de la hauteur. La deuxième concerne les instruments de mesure, baromètre en particulier : quelle est la fiabilité de cet instrument, d'autant plus qu'il doit être conçu pour être aisément transportable ? Enfin, il faut s'arrêter aux conditions expérimentales, qui grèvent considérablement les résultats. Les conditions météorologiques, en particulier l'hygrométrie de l'air, ont une influence sur les mesures¹ ; Beudant résume les précautions à prendre :

"Les instruments des observateurs devront être comparés avec soin, avant et après les observations, pour savoir s'ils sont parfaitement d'accord.

"On fera les observations, autant que possible, par un temps calme et serein, et à l'heure où l'atmosphère est le plus tranquille, afin d'éviter autant que possible les causes d'erreur."²

On note le retournement de tendance à partir du moment où l'on va utiliser le baromètre pour la prévision du temps, où ce sont précisément les conditions

$$z = 32 (500 + t + t') \frac{h - h'}{h + h'}$$

C. L. DURAND-CLAYE, A. PELLETAN, C. LALLEMAND, *Lever des plans et nivellement*, 2e éd. revue et aug. pour la 3e partie, Paris/Liège, 1912, p. 201.

- ¹. RAMOND de CARBONNIERES, *op. cit.* "Second mémoire, lu à l'Institut le 12 mai 1806". Voir aussi F. ARAGO, *Œuvres complètes*, t. 9, *Instructions, rapports et notices sur les questions à résoudre pendant les voyages scientifiques*, Paris, 1857, pp. 15-20, où il analyse l'influence des vents sur la hauteur du baromètre, ainsi que ses variations diurnes.
- ². BEUDANT, *loc. cit.* Le "tableau de quelques hauteurs barométriques prises en différents points de la Nouvelle Grenade par M. B. Levy" rapporte 125 observations barométriques du 20 janvier au 5 mars 1848, les calculs étant effectués selon les tables d'Oltmanns. Pour chaque observation, on note, outre les données indispensables au calcul, la date, l'heure, les circonstances météorologiques sommaires. Archives de l'Académie des Sciences, dossier Arago.

atmosphériques que l'on voudra déterminer, en se dégageant de la contrainte de variation de pression en fonction de l'altitude.

A la fin du XIX^e siècle, Charles-Léon Durand-Claye qualifiait le nivellement barométrique d'"approximation grossière"¹, donnant au mieux des "altitudes à quelques mètres près."² Depuis les choses ont peu évolué et la formule classique, selon Levallois³, se présente sous la forme (avec une erreur de ± 5 m, parfois 10 m) :

$$z_2 - z_1 = 18\,400 \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \log \frac{P_2}{P_1} \frac{g_0}{g_m}$$

$$\left(1 + 0,188 \left(\frac{f_1}{P_1} + \frac{f_2}{P_2} \right) \right)$$

où f_1 et f_2 sont les tensions de vapeur d'eau aux deux stations.

¹. DURAND-CLAYE, PELLETAN, LALLEMAND, *loc. cit.*

². *Ibid.*, p. 202.

³. LEVALLOIS, *op. cit.*, p. 121.

**ANNEXE 2 : NOTE DE PRÉSENTATION DE L'OBSERVATOIRE DES
CHAUSSÉES URBAINES DE MONTREUIL (93)**

juin 1990

**INFLUENCE DES OPERATIONS D'URBANISME
SUR LE COMPORTEMENT A LONG TERME DES RESEAUX DE
VOIRIE URBAINE :
CONCEPTION D'UN OBSERVATOIRE.**

I. PRÉSENTATION GÉNÉRALE.

La notion de coût induit ou indirect prend une signification de plus en plus importante pour la collectivité qui doit gérer un patrimoine en constante évolution.

En ce qui concerne les opérations d'urbanisme, on a pu percevoir les effets induits par la construction de logements, de bureaux, de zones d'activité sur le tissu existant : revitalisation d'un quartier, dynamisation ou au contraire extinction des commerces avoisinants... La gêne engendrée par un chantier est, pour une part, immédiatement perceptible — quoique non quantifiée — : bruit, congestion du trafic...

Mais il existe peut-être des effets plus « discrets » : l'aménageur est tenu de remettre en état, à la fin de l'opération, les réseaux endommagés ; de tels coûts sont prévus dans son budget. Mais n'est-on pas en droit de penser que la chaussée, soumise pendant plusieurs mois voire plusieurs années à des sollicitations inhabituelles — en particulier le trafic lourd —, peut connaître un vieillissement accéléré ? N'en est-il pas de même des réseaux enterrés, dans un environnement géologique plus ou moins bouleversé ? Qui doit supporter ces éventuels surcoûts d'entretien ?

Il n'est pas de notre ressort de répondre à cette dernière question. En revanche, il nous semble que la question de l'effet d'une opération d'urbanisme sur son environnement mérite que l'on s'y arrête. Parmi les composantes de cet environnement, nous avons choisi de focaliser notre attention sur les chaussées, en raison du budget important que les collectivités consacrent à leur entretien et de la faisabilité d'un tel travail. En effet, depuis plusieurs années, des outils d'aide à la gestion de leur entretien ont été mis au point, notamment par le L. R. O. P. Montreuil fait partie des villes qui ont ressenti le besoin de mieux maîtriser leur patrimoine viaire, aussi s'est-elle dotée d'un tel outil. C'est pourquoi elle nous paraît constituer un terrain propice à la mise en place d'un observatoire consacré à l'évaluation de l'"influence des opérations d'urbanisme sur le comportement à long terme des réseaux de voirie urbaine", d'autant plus que de nombreuses opérations d'urbanisme vont y voir le jour dans les années à venir.

En outre, le principe de l'observatoire est de se greffer sur l'outil de gestion existant, sans entraver son fonctionnement courant ni occasionner un surcroît de travail pour les Services Techniques. De leur part, on sollicitera plus une mise à disposition de données que l'exécution de tâches matérielles, les acteurs de l'observatoire se chargeant de collecter d'éventuelles données complémentaires.

II. MISE EN ŒUVRE.

Les opérations d'urbanisme étudiées seront des Z. A. C. en raison de l'existence d'un aménageur unique, ce qui peut faciliter le recueil de certaines données.

1. Reconnaissance du site.

- Informations générales à l'échelle de la ville : pratiques des services techniques, localisation des centrales à béton, des entrepôts de matériaux ;
- Sur la base d'ORAGE, définition des itinéraires susceptibles d'être impliqués (trafic, intervention hors périmètre de certains concessionnaires) ;
- Données portant sur l'opération elle-même : taille, périmètre, durée prévue, projet V. R. D. ...

But : isoler les segments susceptibles d'être impliqués, définir une zone aux caractéristiques équivalentes mais non touchée par une opération d'aménagement.

2. Périmètre d'observation et segmentation.

- Z. A. C. concentrée : périmètre établi en 1 ;
- Z. A. C. diffuse : principalement, segments amont et aval du périmètre de Z. A. C.

Conformément au principe de l'observatoire, la segmentation retenue est dans les deux cas celle d'ORAGE.

3. Thèmes d'observation et indicateurs utilisés.

On s'intéresse principalement à la chaussée, avec les indicateurs existant dans ORAGE. Néanmoins des éléments directement liés à l'état de la chaussée peuvent être pris en compte :

- Intervention sur réseaux enterrés (comptage des tranchées ouvertes annuellement) ;
- Contexte géologique : niveau piézométrique, contrainte de consolidation, teneur en eau, et/ou identification des désordres dans les ouvrages souterrains ;
- Sécurité : nombre, gravité et localisation des accidents recensés ;
- Bruit : riverains très gênés par le bruit (méthode CETUR).

Ces thèmes complémentaires sont à débattre avec les gestionnaires locaux et à rapprocher de la notion de qualité de l'espace public et de niveau de service ; dans cette optique on pourrait y ajouter par exemple un suivi de la végétation (méthode I. D. F.).

4. Recueil des données.

- Point zéro : basé sur les données archivées dans ORAGE — dont certaines pourront être rafraîchies si jugées trop anciennes — et sur les informations complémentaires nécessaires au traitement des thèmes indiqués en 3 ;
- Suivi : basé sur le suivi courant, avec un affinement éventuel sur certains segments (relevé visuel annuel avec niveau de gravité, nombre de tranchées ouvertes ...).

5. Exploitation des résultats.

- Cartographie des différents thèmes ;
- Etudes statistiques des notes obtenues ;
- Comparaison avec un (ou des) sites non perturbés.

6. Durée de vie et publication des résultats.

A la fin de l'opération d'urbanisme, un bilan complet sera effectué. On poursuivra les observations pendant plusieurs années, il est difficile de dire a priori combien (trois ? cinq ?), jusqu'au bilan final.

Il va de soi que toutes les publications au sens large auxquelles pourrait donner lieu l'observatoire (notes de travail, résultats intermédiaires et définitifs ...) seront co-signées par la ville de Montreuil, le L. R. O. P. et l'I. F. U., en témoignage de leur collaboration.

7. Présentation du groupe de travail.

- Ville de Montreuil ;
- Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien : J. P. CHRISTORY, adjoint au directeur ;
- Institut Français d'Urbanisme (Université de Paris VIII) et Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines (URA. C.N.R.S. 1244) : Eugénie TIENTCHEU, étudiante en maîtrise à l'I. F. U. et Sabine BARLES, ingénieur en génie civil et urbanisme, en thèse à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ; sous la direction d'André GUILLERME, professeur à l'Université de Paris VIII ;
- Société POLUDIAG, B. GOUBSKY.

**ANNEXE 3 : PARAMETRES PRIS EN COMPTE DANS L'OBSERVATOIRE DES
CHAUSSÉES DE MONTREUIL**

Version provisoire, janv. 1991

**Influence des opérations d'urbanisme
sur le comportement
à long terme des réseaux de voirie urbaine :
conception d'un observatoire.**

Elaboration d'un tableau de modalités
caractérisant le site, les opérations d'urbanisme
et les segments de voirie concernés.

1. Modalités liées au site	2
2. Modalités liées aux opérations d'urbanisme	3
3. Modalités liées au segment de voirie urbaine	4
3. 1. Modalités de rang 1	4
3. 2. Modalités de rang 2	5

3 janvier 1991

1. Modalités liées au site :

rang ¹	n°	modalité	sous-classe de modalité
1	1.1	trame urbaine	tissu existant zone NA
1	1.2	topographie	pendage ≤ 5% 5% < pendage ≤ 10% pendage > 10% accidentée
1	1.3	substratum	facile courant difficile
1	1.4	présence d'eau ²	affleurante peu profonde profonde
1	1.5	niveau de l'eau ²	stable instable très instable
2	1.6	encombrement par les réseaux	nul moyen saturation
2	1.7	taux d'imperméabilisation	faible moyen important
2	1.8	COS existant	< 1 1 ≤ COS < 2 ≥ 2

1. Importance de la modalité (rang 1 ou 2).

2. Il peut s'agir aussi bien de la nappe phréatique que des fuites des réseaux.

2. Modalités liées aux opérations d'urbanisme¹ :

rang ²	n°	modalité	sous-classe de modalité
1	2.1	nature du programme ³	extension urbaine rénovation réhabilitation
1	2.2	importance du programme	SHON < 5 000 m ² 5 000 ≤ SHON < 50 000 m ² SHON ≥ 50 000 m ²
1	2.3	stratégie spatiale	diffus concentré
1	2.4	type de construction	artisanal industriel préfabriqué industriel en place
1	2.5	état d'avancement ⁴	lancement avancé achevé
2	2.6	nature de l'outil d'urbanisme	ZAC AFU ⁵ Lotissement autres
2	2.7	COS prévu	< 1 1 ≤ COS < 2 ≥ 2
2	2.8	composition du programme(dominante)	logements activités équipements mixte
2	2.9	durée prévisionnelle d'observation	court terme (< 3 ans) moyen terme (3 ≤ d ≤ 6ans) long terme (> 6 ans)

1. Les opérations d'urbanisme sont définies au sens de la commune.

2. Importance de la modalité (rang 1 ou 2).

3. Dominante.

4. Au départ des observations.

5. Les AFU sont en fait souvent créées à la suite d'une procédure de ZAC.

3. Modalités liées au segment de voirie urbaine :

3.1. Modalités de rang 1 :

rang ¹	n°	modalité	sous-classe de modalité
1	3.1	niveau d'implication ²	1er niveau 2e niveau 3e niveau 4e niveau
1	3.2	importance	petite moyenne grande
1	3.3	trafic lourd ³	important moyen faible
1	3.4	état actuel de la structure ⁴	bon moyen mauvais
1	3.5	composition de la structure	souple semi-souple semi-rigide rigide
1	3.6	âge et historique du segment ⁵ : <i>chaussée</i>	ancien (≤ 1950) moderne ($1950 < d \leq 1987$) neuf ($d > 1987$)
1	3.7	âge et historique du segment ⁵ : <i>trottoir</i>	ancien (≤ 1950) moderne ($1950 < d \leq 1987$) neuf ($d > 1987$)
1	3.8	encombrement par les réseaux	nul moyen saturation
1	3.9	état actuel des réseaux enterrés : <i>fluides</i>	bon moyen mauvais
1	3.10	position des réseaux ⁶	profondeur < 50 cm $50 \leq p < 100$ cm profondeur ≥ 100 cm

1. Importance de la modalité (rang 1 ou 2).
2. A adapter après analyse du plan de circulation.
3. Dans la mesure où des voies de petite importance sont susceptibles d'être affectées par un trafic lourd pour lequel elles ne sont pas conçues.
4. Seuils définis à partir des histogrammes de notes donnés par ORAGE.
5. On considère que la chaussée est neuve lorsqu'elle est âgée de moins de trois ans (la date de 1987 est donc à adapter dans le temps) ; la date de 1950 correspond à une évolution dans les techniques de construction des chaussées (mécanisation, etc).
6. A Montreuil, la profondeur des réseaux est en général de 70-80 cm. Ce n'est pas le cas dans toutes les villes.

3. 2. Modalités de rang 2 :

rang ¹	n°	modalité	sous-classe de modalité
2	3.11	état actuel de la chaussée	bon moyen mauvais
2	3.12	état actuel des trottoirs	bon moyen mauvais
2	3.13	état actuel des bordures	bon moyen mauvais
2	3.14	composition du revêtement	liant hydrocarboné béton de ciment pavé échantillon pavé mosaïque autre
2	3.15	composition du trottoir	liant hydrocarboné béton de ciment pavé échantillon pavé mosaïque dalle autre
2	3.16	nature des bordures	
2	3.17	besoin en entretien ²	oui non
2	3.18	état actuel des réseaux enterrés : <i>autres réseaux</i>	bon moyen mauvais
2	3.19	pente du segment	pente ≤ 5% 5% < pente ≤ 10% pente > 10%
2	3.20	sens de circulation du trafic lourd	montant descendant double
2	3.21	présence de végétation arbustive	oui non
2	3.22	intensité de l'activité urbaine ³	peu dense dense très dense
2	3.23	nature de l'activité urbaine ³	diurne nocturne mixte

1. Importance de la modalité (rang 1 ou 2).

2. Défini à partir du système-expert SEVADER.

3. Activité commerciale, de loisirs, etc..., indicateurs de la densité et de la nature de la fréquentation aux abords du segment, peuvent être utiles pour étudier les problèmes de sécurité et de gêne liés aux différents chantiers.

SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE

SOMMAIRE

I. RÉFÉRENCES	498
I.1. Généralités.....	498
I.2. Sciences de la vie	500
I.3. Hygiène, équipement de la ville.....	501
I.4. Mécanique des sols, construction.....	503
I.5. Géographie, cartographie.....	504
I.6. Archéologie urbaine	506
I.7. Bibliographie parisienne	507
II. LE SOL URBAIN AUJOURD'HUI	510
II.1. Réseaux techniques urbains	510
II.2. Mécanique des sols.....	514
II.3. Ecologie, pédologie	519
II.4. Pollution du sol	524
III. LA VIE DU SOL (XVIII ^E -XX ^E SIECLES)	527
III.1. Médecine, épidémies, pathologies.....	527
III.2. Topographies et constitutions médicales.....	531
III.3. Propreté, salubrité, assainissement.....	533
III.4. Géographie	541
III.5. Mécanique des sols, construction.....	544
III.6. Végétation	550
III.7. Architecture, urbanisme, aménagement.....	552
III.8. Urbanisme souterrain	553
IV. ARCHIVES ET MANUSCRITS	557

I. RÉFÉRENCES

I.1. GÉNÉRALITÉS

- ARIÈS, P. *L'homme devant la mort*. Paris : Ed. du Seuil, 1977. Ed. de poche : 2 vol., 304 p., 343 p.
- BACHELARD, G. *La formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*. 13e éd. [1ère éd. 1938]. Paris : Libr. Philosophique J. Vrin (coll. "Bibliothèque des textes philosophiques"), 1986. 256 p.
- BERQUE, A. *Médiance : de milieux en paysages*. Montpellier : Reclus (coll. "Géographiques"), 1990. 163 p.
- CHOAY, F. *L'urbanisme, utopies et réalités : une anthologie*. Paris : Ed. du Seuil, 1965. 445 p.
- CHOAY, F. *La règle et le modèle : sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*. Paris : Ed. du Seuil (coll. "Espaces"), 1980. 374 p.
- CHOUILLET, A. M. "Du bon usage des signatures dans l'*Encyclopédie*", *Recherches sur Diderot et sur l'Encyclopédie* (3), oct. 1987, pp. 156-160.
- COHEN, J. L. "Ville sur ville : le destin de Gaston Bardet", *L'architecture d'aujourd'hui* (265), oct. 1989, pp. 78-82.
- DELUMEAU, J., LEQUIN, Y. *Les malheurs des temps : histoire des fléaux et des calamités en France*. Paris : Larousse (coll. "Mentalités : vécus et représentations"), 1987. 519 p.
- DOUGLAS, M. *De la souillure : essai sur les notions de pollution et de tabou*. Trad. de l'anglais [1ère éd. anglaise : Londres, 1967]. Paris : Maspéro (coll. "Fondations"), 1981. 193 p.
- DUBY, G. (ed.). *Histoire de la France urbaine*, t. 3, *La ville classique : de la Renaissance aux Révolutions*. Paris : Ed. du Seuil, 1981. 651 p.
- DUBY, G. (ed.). *Histoire de la France urbaine*, t. 4, *La ville de l'âge industriel : le cycle haussmannien*. Paris : Ed. du Seuil, 1983. 665 p.
- DUPUY, G. *Urbanisme et technique : chronique d'un mariage de raison*. Paris : C.R.U., 1978. 420 p.
- DUPUY, G. *L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes*. Paris : Armand Colin (coll. "U-Géographie"), 1991. 198 p.
- EHRARD, J. *L'idée de nature en France dans la première moitié du XVIIIe siècle*. Paris : Paris : SEVPEN (coll. "Bibliothèque générale de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, VIe section"), 1963. 2 vol., 861 p.
- FAVRE, R. *La mort dans la littérature et la pensée française au siècle des Lumières*. Lyon : Presses Universitaires de Lyon, [1978]. 640 p.

- FOUCAULT, M. *Les mots et les choses : une archéologie des sciences humaines*. Paris : Gallimard, 1966. 400 p.
- FOUCAULT, M. *Surveiller et punir : naissance de la prison*. Paris : Gallimard, 1975. 318 p.
- GAUDIN, J. P. *L'avenir en plan : technique et politique dans la création urbaine (1900-1930)*. Seyssel : Champ Vallon (coll. "Milieux"), 1985. 215 p.
- GILLISPIE, C. C. (ed.). *Dictionary of Scientific biography*. New York : Charles Scribner's Sons, 1970-1980. 16 vol.
- GOHAU, G. *Histoire de la géologie*. Paris : Ed. La Découverte (coll. "Histoire des sciences"), 1987. 259 p.
- GUILLERME, A. *Les temps de l'eau : la cité, l'eau et les techniques. Nord de la France, fin IIIe-début XIXe siècle*. Seyssel : Champ Vallon (coll. "Milieux"), 1983. 263 p.
- HUIZINGA, J. *L'automne du Moyen-Age*. Paris : Payot, 1989. 343 p.
- JORDANOVA, L. J., PORTER, R. S. (eds.). *Images of earth : essays in the history of the environmental sciences*. Bucks : British Society for the History of Science (coll. "BSHS monographs", 1), 1979. xix+282 p.
- KONVITZ, J. *The urban millenium : the city building process from the early middle ages to the present*. Carbondale/Edwardsville : Southern Illinois University Press, 1985. xxi+265 p.
- LE GOFF, J. *La naissance du Purgatoire*. Paris : Gallimard, 1981. 509 p.
- LEPETIT, B. *Les villes dans la France moderne (1740-1840)*. Paris : Albin Michel, 1988. 490 p.
- MATHIEU, M. *Pierre Patte, sa vie et son œuvre*. Thèse. Paris, 1940. 423 p.
- MERLIN, P., CHOAY, F. (eds.). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. Paris : P.U.F., 1988. XIX+723 p.
- METZGER, H. *Les doctrines chimiques en France du début du XVIIe siècle à la fin du XVIIIe siècle*. Nouveau tirage [1ère éd. 1923]. Paris : Libr. Scientifique et Technique Albert Blanchard, 1969. 496 p.
- PERROT, J. C. *L'âge d'or de la statistique régionale française (an IV-1804)*. Paris : Société des Etudes Robespierriistes, 1977. 235 p.
- PICON, A. *Architectes et ingénieurs au siècle des Lumières*. Marseille : Ed. Parenthèses, 1988. 317 p.
- PICON, A. *L'invention de l'ingénieur moderne : l'Ecole des Ponts et Chaussées (1747-1851)*. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1992. 767 p.

- RUPKE, N. A. "Caves, fossils and the history of the earth", pp. 241-259, in : CUNNINGHAM, A., JARDINE, N. (eds.). *Romanticism and the sciences*. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. xxii+345 p.
- SEBILLOT, P. *Le folklore de France*, vol. 2, *La terre et le monde souterrain*. Réed. [1ère éd. 1904-1906]. Paris : Imago, 1983. 329 p.
- WORONOFF, D. (ed.). *Révolution et espaces forestiers*. Actes du colloque du Groupe d'Histoire des Forêts Françaises, 3-4 juin 1987. Paris : L'Harmattan (coll. "Alternatives rurales"), 1989. 263 p.
- Ecole (l') de Chicago : naissance de l'écologie urbaine*. 2e éd. [1ère éd. Paris : C.R.U., 1979]. Choix de textes de G. Simmel, W. I. Thomas, R. E. Park, E. W. Burgess, R. D. Mac Kenzie, L. Wirth, M. Halbwachs, H. Kulkick, présentés par M. Grafmeyer et I. Joseph. Paris : Aubier, 1984. 377 p.
- Quels dess(e)ins pour les villes ? De quelques objets de planification pour l'urbanisme de l'entre-deux-guerres*. Paris : Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports - Délégation de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques (coll. "Dossiers des séminaires T.T.S.", 20/21), oct. 1992. 323 p.

I.2. SCIENCES DE LA VIE

- ACOT, P. *Histoire de l'écologie*. Paris : P.U.F., 1988. 285 p.
- BOULAIN, J. *Histoire des pédologues et de la science des sols*. Paris : INRA, 1989. XIV+285 p.
- BOURDELAIS, P., RAULOT, J. Y. *Histoire du choléra en France : une peur bleue (1832 et 1854)*. Paris : Payot, 1987.
- COURTÈS. "La médecine militante et la philosophie critique", *Thalès*, t. 9, 1958, pp. 37-59.
- DARMON, P. *La longue traque de la variole : les pionniers de l'hygiène publique*. Paris : Libr. Académique Perrin (coll. "Pour l'histoire"), 1986. 503 p.
- DELEAGE, J. P. *Histoire de l'écologie : une science de l'homme et de la nature*. Paris : Ed. La Découverte (coll. "Histoire des sciences"), 1992. 330 p.
- DESAIVE, J. P. et al. *Médecins, climat et épidémies à la fin du XVIIIe siècle*. Paris : Mouton/Ecole Pratique des Hautes Etudes (coll. "Civilisations et sociétés", 29), 1972. 254 p.
- DROUIN, J. M. *Réinventer la nature : l'écologie et son histoire*. Paris : Desclée de Brouwer (coll. "Eclats"), 1991. 207 p.
- DUCHESNAU, F. *La physiologie des Lumières : empirisme, modèles et théories*. La Haye : Martinus Nijhoff Publishers (coll. "Archives d'histoire des idées", 95), 1982. XXI+611 p.
- EHRARD, J. "La peste et l'idée de contagion", *A.E.S.C.*, 1957, pp. 46-59.

- FOUCAULT, M. *et al. les machines à guérir : aux origines de l'hôpital moderne*. Bruxelles/Liège : Mardaga (coll. "Architecture + Archives"), 1979. 184 p.
- LEONARD, J. *La médecine entre les savoirs et les pouvoirs : histoire intellectuelle et politique de la médecine française au XIXe siècle*. Paris : Aubier-Montaigne, 1981. 384 p.
- MAULITZ, R. C. *Morbid appearances : the anatomy of pathology in the early nineteenth century*. Cambridge : Cambridge University Press, 1987. ix+277 p.
- MÜLLER, G. H. "Le terme «mésologie» comme nouvelle détermination de la science des rapports des êtres vivants avec leur milieu", pp. 103-112, in : LOUIS, P., ROGER, J (eds.). *Transfert de vocabulaire dans les sciences*. Actes de la table ronde du C.N.R.S. Paris : Ed. du C.N.R.S., 1988. 338 p.
- NICOLSON, M. "Alexander von Humboldt and the geography of vegetation", pp. 169-185, in : CUNNINGHAM, A., JARDINE, N. (eds.). *Romanticism and the sciences*. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. xxii + 345 p.
- PIQUEMAL, J. "Le choléra de 1832 en France et la pensée médicale", *Thalès*, t. 10, 1959, pp. 27-73.
- SALOMON-BAYET, C. (ed.). *Pasteur et la révolution pastoriennne*. Paris : Payot, 1986. 436 p.
- ROGER, A., GUERY, F (eds.). *Maîtres et protecteurs de la nature*. Seyssel : Champ Vallon (coll. "Milieux"), 1991. 329 p.
- "Physiologie et médecine", *XVIIIe siècle* 23, 1991, pp. 5-190.

I.3. HYGIENE, ÉQUIPEMENT DE LA VILLE

- BOUDRIOT, P. D. "Essai sur l'ordure en milieu urbain à l'époque pré-industrielle : boues, immondices et gadoue à Paris au XVIIIe siècle", *Histoire, économie et société* 5(4), 1986, pp. 515-528.
- BOUDRIOT, P. D. "Essai sur l'ordure en milieu urbain à l'époque pré-industrielle : de quelques réalités écologiques à Paris aux XVIIe et XVIIIe siècles. Les déchets d'origine artisanale", *Histoire, économie et société* 7(2), 1988, pp. 261-281.
- BOURGEOIS-GAVARDIN, J. *Les boues de Paris sous l'ancien régime : contribution à l'histoire du nettoyage urbain aux XVIIe et XVIIIe siècles*. Thèse de 3e cycle, E.H.E.S.S., nov. 1985. 2 vol., 437 p., exempl. dactylogr.
- CEBRON DE LISLE, P. *Eau et assainissement à Paris sous le Second Empire*. Mémoire de maîtrise, Université de Paris IV, 1984. 342 p., exempl. dactylogr.
- CLAUDE, V. *Strasbourg 1850-1914 : assainissement et politiques urbaines*. Thèse, E.H.E.S.S., mai 1985. 2 vol., exempl. dactylogr.

- CLAUDE, V. *L'A.G.H.T.M. : école et ou lobby (1905-1930)*. Rapport de recherche pour le Plan Urbain, Saint-Denis : A.R.D.U., juil. 1987. exempl. dactylogr.
- CORBIN, A. *Le miasme et la jonquille : l'odorat et l'imaginaire social, XVIIIe-XIXe siècles*. 2e éd. [1ère éd. 1982]. Paris : Flammarion (coll. "Champs"), 1986. 336 p.
- DUPUY, G., KNAEBEL, G. *Assainir la ville hier et aujourd'hui*. Paris : Dunod (coll. "Les pratiques de l'espace"), 1982. 92 p.
- GOUBERT, J. P. *La conquête de l'eau : l'avènement de la santé à l'âge industriel*. Paris : R. Laffont (coll. "Pluriel"), 1986. 302 p.
- GUILLERME, A. "Medical topography, environment health and the rebuilding of Le Mans (1785-1794)". Communication à la conférence annuelle de la Society for the Social History of Medicine, *Environmental health*, Bristol, 6-8 juil. 1984. 20 p., exempl. dactylogr.
- JACQUEMET, G. "Urbanisme parisien : la bataille du tout à l'égout à la fin du XIXe siècle", *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 26, 1979, pp. 505-548.
- LAPOUGE, G. "Utopie et hygiène", *Cadmos* 3(9), printemps 1980, pp. 97-121.
- MARGAT, J. "La voirie de Bondy", *En Aulnoye, jadis* (14), 1985, pp. 57-75.
- MAUGUEN, P. Y. *Innovation et réseaux d'assainissement (1870-1885) : communautés d'ingénieurs et d'hygiénistes pastoriens face à l'émergence de la microbiologie*. Mémoire de D.E.A., C.N.A.M., 1988. 259+IX p., exempl. dactylogr.
- MELOSI, M. V. "Hazardous waste and environmental liability : an historical perspective", *Houston law review* 25(4), juil. 1988, pp. 741-779.
- MELOSI, M. V. "Cities, technical systems and the environment", *Environmental history review*, printemps-été 1990, pp. 45-64.
- MERRIEN, F. X. *La bataille des eaux : politiques publiques et représentations sociales à Rennes au XIXe siècle*. Rapport de recherche pour le PIREN. S. I. : Centre de Recherche en Sciences Sociales du Travail, 1990. 181 p., exempl. dactylogr.
- TARR, J. A. "From city to farm : urban wastes and the american farmer", *Agricultural history* 49, 1975, pp. 598-612.
- VEDRY, B. *Contribution à l'histoire des procédés d'épuration biologique des eaux résiduaires*. Mémoire de D.E.A., Universités de Paris IV et de Paris VIII, C.N.A.M., H.E.S.S., sept. 1992. 119+59 p., exempl. dactylogr.
- Paris et ses réseaux : naissance d'un mode de vie urbain. XIXe-XXe siècle*. Actes du colloque de Paris, oct. 1990. Paris : B.H.V.P./Agence culturelle de Paris, 1990. 425 p.
- "Réseaux (les) techniques urbains, histoire contemporaine", actes du séminaire international de Paris, déc. 1983, A.R.U. (23-24), 1984. 272 p.

"Sain (le) et le malsain eu 18e siècle", *XVIIIe siècle* 9, 1977, pp. 15-214.

I.4. MÉCANIQUE DES SOLS, CONSTRUCTION

ACHE, J. B. *Eléments d'une histoire de l'art de bâtir*. Paris : Ed. du Moniteur des Travaux Publics, 1970. 577 p.

CHICOTEAU, Y., PICON, A., ROCHANT, C. "Gaspard Riche de Prony ou le génie «appliqué»", *Culture technique* (12), mars 1984, pp. 170-183.

CROLA, J. F., GUILLERME, A. (eds.). *Histoire des métiers du bâtiment aux XIXe et XXe siècles*. Actes du séminaire de Royaumont, 28-30 nov. 1989. Paris : Plan Construction et Architecture, [1991]. 349 p.

GUILLERME, A. *Corps à corps sur la route : les routes, les chemins et l'organisation des services au XIXe siècle*. Paris : Presses de l'E.N.P.C. (coll. "Tradition technique"), 1984. 172 p.

GUILLERME, A. "La production et l'entretien dans les travaux publics : bases scientifiques et techniques, contextes et environnements", pp. 53-87, in : COMMISSION ARCHITECTURE, URBANISTIQUE SOCIETE. *Etats des lieux, thèmes émergents*, vol. 1, *Construire la ville*. Paris : C.N.R.S., 1985-1986. 205 p.

GUILLERME, A. "La cervelle de la terre : la mécanique des sols et les fondations d'ouvrages de 1750 à 1830", *History and technology* 7(3-4), 1991, pp. 211-254.

HEYMAN, J. *Coulomb's memoir on statics : an essay in the history of civil engineering*. Cambridge : Cambridge University Press, 1972. ix+211 p.

KERISEL, J. "Historique de la mécanique des sols en France jusqu'au 20e siècle", *A.P.C.*, juil.-août 1958, pp. 505-531.

KERISEL, J. *Down to earth. Foundations past and present : the invisible art of the builder*. Rotterdam/Boston : Balkema, 1987. IX+149 p.

SKEMPTON, A. W. "Un pionnier de la mécanique des sols : Alexandre Collin (1808-1890)", trad. de l'anglais [éd. anglaise in : *Newcomen Society Transactions*, vol. 25, 1946, pp. 91-104], *A.P.C.*, mai-juin 1956, pp. 317-340.

SMITH, C. O. "The longest run : public engineers and planning in France", *The American historical review* 95(3), juin 1990, pp. 657-692.

TERZAGHI, K. "Origin and functions of soil mechanics", *A.S.C.E. Transactions*, vol. CT, 1953, pp. 666-696.

Emiland-Marie Gauthey (1732-1806). Actes du colloque du Creusot, 1-3 avr. 1992. A paraître.

I.5. GÉOGRAPHIE, CARTOGRAPHIE

ALINHAC, G. *Historique de la cartographie*. S. l. : I.G.N., 1986. X+167 p.

BERTHAUT, H. *La carte de France (1750-1898) : étude historique*. S. l., 1898-1899. 2 vol., XVIII+341 p., 585 p.

BLAKEMORE, J. HARLEY, J. B. "Concepts in the history of cartography : a review and perspective", *Cartographica* 17(4), hiver 1980 [monographie 26], pp. 1-120.

BROC, N. "Un géographe dans son siècle : Philippe Buache (1700-1773)", *XVIIIe siècle* 3, 1971, pp. 223-235.

BROC, N. *Les montagnes au siècle des lumières : perception et représentation*. 2e éd. augm. de compléments bibliographiques [1ère éd. sous le titre *Les montagnes vues par les géographes et les naturalistes de langue française au XVIIIe siècle*, 1969]. Paris : Ed. du C.T.H.S. (coll. "Mémoires de la section de géographie physique et humaine", 4), 1991. 300 p.

DAINVILLE, F. de. "La carte de Cassini et son intérêt géographique", pp. 85-94, réimpression [1ère éd. in : *B.A.G.F.*, 1955, pp. 138-147], in : DAINVILLE, *La cartographie, reflet de l'histoire*, Genève/Paris : Ed. Slatkine, 1986. 489 p.

DAINVILLE, F. de. "De la profondeur à l'altitude : des origines marines de l'expression cartographique du relief terrestre par cotes et courbes de niveau", réimpression [1ère éd. in : *Le navire et l'économie maritime du Moyen-Age au XVIIIe siècle principalement en Méditerranée*, Paris, 1958, pp. 195-213], pp. 441-457, in : DAINVILLE, *La cartographie, reflet de l'histoire*, Genève/Paris : Ed. Slatkine, 1986. 489 p.

DETTWILLER, J. "L'orage du 13 juillet 1788", *La Météorologie*, VIe série (24), mars 1981, pp. 107-112.

DIXON-GOUGH, W. "An examination of the technological developments influencing the portrayal of terrain representation on maps up to the nineteenth century", vol. 2, pp. 455-461, in : MARZOLI, C. C. (ed.). *Imago et mensura mundi*. Actes du 9e congrès international d'histoire de la cartographie. Rome : Istituto della Enciclopedia Italiana, 1985. 3 vol., XVI+600 p.

DOUBLET, E. *Une famille d'astronomes et de géographes*. Bordeaux, s. d. [193.]. 42 p.

DRAPEYRON, L. "Les deux Buache (...)", pp. 7-17, in : DRAPEYRON, *Les deux Buache et l'éducation géographique de trois rois de France (Louis XVI, Louis XVIII, Charles X) (...)*. Extrait de la *Revue de géographie*. Paris, 1888. 79 p.

DRAPEYRON, L. "Les travaux géographiques de Cassini de Thury, auteur de la première carte topographique de France", réimpression [1ère éd. pp. 643-654, in : *Report of the sixth international geographical congress*. Actes du congrès de Londres, 1895. Londres, 1896], *Acta Cartographica* 12, 1971, pp. 77-88.

- FORTIER, B., VAYSSIERE, B. "L'architecture des villes. espaces, cartes et territoire", *Urbi* (3), mars 1980, pp. LIII-LXII.
- GRALAK, A., ODLANICKI-POCZOBUTT, M., TRACZEWSKA-BIALEK, Z., WALOCHA, K. "Historical maps in the restoration of monumental structures and complexes on the example of the city of Cracow", vol. 1, pp. 233-240, in : MARZOLI, C. C. (ed.). *Imago et mensura mundi*. Actes du 9e congrès international d'histoire de la cartographie. Rome : Istituto della Enciclopedia Italiana, 1985. 3 vol. XVI+600 p.
- GUILLERME, A. *Genèse du concept de réseau : territoire et génie en Europe de l'Ouest, 1760-1815*. Rapport de recherche pour le Ministère de l'Équipement et du Logement. Noisy-le-Grand : L.T.M.U., 1988. 230 p., exempl. dactylogr.
- KISH, G. "Early thematic mapping : the work of Philippe Buache", *Imago mundi* 28, 1976, pp. 129-136.
- KONVITZ, J. *Cartography in France, 1660-1848 : science, engineering, and statecraft*. Londres/Chicago : The University of Chicago Press, 1987. xx+194 p.
- KRETSCHMER, I. "The first and second Austrian school of layered relief maps in the nineteenth century and early twentieth century", *Imago Mundi* 40, 1988, pp. 9-14.
- LAFRENTZ, J. "Analisi metrologica di piante storiche cittadine", vol. 1, pp. 253-264, in : MARZOLI, C. C. (ed.). *Imago et mensura mundi*. Actes du 9e congrès international d'histoire de la cartographie. Rome : Istituto della Enciclopedia Italiana, 1985. 3 vol. XVI+600 p.
- LAGARDE, L. "Philippe Buache 1700-1773", *Geographers biobibliographical studies* 9, 1985, pp. 21-27.
- LEVALLOIS, J. J. *Mesurer la terre : 300 ans de géodésie française, de la toise du Châtelet au satellite*. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1988. 389 p.
- PALSKY, G. "Des représentations topographiques aux représentations thématiques : recherches historiques sur la communication cartographique", *B.A.G.F.* 61(505-506), nov.-déc. 1984, pp. 389-398.
- PELLEGRINI, G. C. "Cartografia e geografia : un rapporto in evoluzione", vol. 1, pp. 11-117, in : MARZOLI, C. C. (ed.). *Imago et mensura mundi*. Actes du 9e congrès international d'histoire de la cartographie. Rome : Istituto della Enciclopedia Italiana, 1985. 3 vol. XVI+600 p.
- ROBINSON, A. H. "The genealogy of the isopleth", *Cartographic journal* 8(1), juin 1971, pp. 49-53.
- RONCAYOLO, M. "Le paysage du savant", vol. 1, pp. 487-528, in : NORA, P. (ed.). *Les lieux de mémoire*, t. II, *La Nation*, Paris : Gallimard, 1986-1993, 3 vol.
- TRENARD, L. "La cartographie, source d'histoire", pp. 73-98, in : BARBIER, F. (ed.). *La carte manuscrite et imprimée du XVIe au XIXe siècle*. Actes de la journée d'étude sur l'histoire du livre et des documents graphiques de Valenciennes, 17 nov. 1981. Munich : K. G. Saur, 1983. 132 p.

VIGNAL, J. *Nivellement de précision*. Paris, 1948. v+262 p.

VIOLA, T., MANZONI, S., NAVALE, M. T. "Problemi geometrici applicati alle tecniche costruttive e rappresentative : l'esempio del tunnel di Samo e un'ipotesi di triangolazione topografica nel VI secolo a. C.", vol. 2, pp. 505-514, in : MARZOLI, C. C. (ed.). *Imago et mensura mundi*. Actes du 9e congrès international d'histoire de la cartographie. Rome : Istituto della Enciclopedia Italiana, 1985. 3 vol. XVI+600 p.

WOODWARD, D. "The study of the history of cartography : a suggested framework", *American cartographer* 1(2), oct. 1974, pp. 101-115.

I.6. ARCHÉOLOGIE URBAINE

ANTIER, G., DORIDOT, M., AUBERT, J., BLANCHET, J. C. "L'archéologie dans l'aménagement en Ile de France", *Cahiers de l'I.A.U.R.I.F.* (55), 1979. 28 p.

BIDDLE, M., HUDSON, D., HEIGHWAY, C. *The future of London's past : a survey of the archaeological implications of planning and development in the nation's capital*. Wocester : Rescues, 1973. 9+83+3 p., 8 cartes.

BOISSE, C. *Urbanisme, aménagement, archéologie : manuel pratique*. Paris : C.R.U., 1980. XII+172 p.

CANIGGIA, G. *Strutture dello spazio antropico : studi e note*. Florence : Biblioteca di architettura (coll. "Saggi e documenti", 3), 1976. 241 p.

CARVER, M. O. H. "Forty french towns : an essay in archaeologic site evaluation and historical aims", *Oxford journal of archaeology* 2(3), 1983, pp. 339-376.

CHEVALLIER, R. "Présence de l'architecture et de l'urbanisme romains", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (15) [2e partie du compte-rendu des journées de janv. 1981 : "La géographie historique des villes d'Europe occidentale"], 1986, pp. 7-21.

DEKKER, L. W., DE WEERD, M. D. "The value of soil survey for archaeology", pp. 27-34, in : SIMONSON, R. W. (ed.). *Non agricultural applications of soil surveys*. Réimpression [1ère éd. dans *Geoderma* 10(1-2), 1973]. Amsterdam/ Londres/New York : Elsevier (coll. "Developments in soil science", 4), 1974. VIII+178 p.

GALINIE, H., RANDOIN, B. *Les archives du sol à Tours : survie et savoir de l'archéologie de la ville*. Tours : Laboratoire d'Archéologie Urbaine, 1979. 63 p., pl.

HALL, A. R., KENWARD, H. K. (eds.). "Environmental archaeology in the urban context", *CBA research report* (43) [Actes de la conférence de janv. 1979, York], 1982. 129 p.

HEIGHWAY, C. *The erosion of history : Archaeology and urban planning in towns*. Londres : Council for British Archaeology, 1972.

- INFUSSI, F., ISCHIA, U. "La ville, entre archéologie et projet urbain", *Urbanistica* (88), août 1987, pp. 6-40.
- LORAIN, J. M. "Prise en compte de l'archéologie dans les études d'impact d'ouverture des carrières", *B.L.L.P.C.* (147), 1987, pp. 5-15.
- PARENTI, R. "Il metodo stratigrafico e l'edilizia storica", pp. 297-309, in : *Il modo di costruire*. Actes du congrès de Rome, 6-8 juin 1988. Rome : Edilstampa, 1990. 504 p.
- PINON, P. "L'archéologie comme projet urbain", *A.A.M.* (29), 1985, pp. 23-35.
- PINON, P. "La persistance des trames urbaines d'origine romaine", *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (15) [2e partie du compte-rendu des journées de janv. 1981 : "La géographie historique des villes d'Europe occidentale"], 1986, pp. 22-39.
- "Archeologia e pianificazione dei centri abitati", *Archéologie médiévale* 6, 1979, pp. 7-262.
- Archéologie et urbanisme : orientation bibliographique*. Paris : S.T.U., 1989. 35 p.
- Archéologie urbaine*. Actes du colloque international de Tours, nov. 1980. Paris : Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales, 1982. 769 p.
- Environnement et travaux routiers : prise en compte du patrimoine archéologique dans les études routières*. Bagneux : S.E.T.R.A., 1978. 84 p.

I.7. BIBLIOGRAPHIE PARISIENNE

- ALPHAND, A. (ed.). *Les travaux de Paris, 1789-1889*. Paris, 1889. XVI pl., 1/16 000.
- ALPHAND, A., DEVILLE, A., HOCHEREAU. *Recueil des lettres patentes, ordonnances royales et arrêtés préfectoraux concernant les voies publiques*. Paris, 1886-1902. 3 vol., 553 p., 88 p., 270 p.
- BARROUX, M. *Le département de la Seine et la ville de Paris, notions générales et bibliographiques pour en étudier l'histoire*. Paris, 1910. XI+444 p.
- BERGERON, L. (ed.). *Paris, genèse d'un paysage*. Paris : Picard (coll. "Villes et sociétés"), 1989. 313 p.
- [BONAMY]. "Sur le cours de la rivière de Bièvre ou des Gobelins", *Histoire de l'Académie royale des inscriptions et belles lettres* (...) XIV (1738-1740), 1743, pp. 267-283, 1 pl.
- BONNARDOT, A. *Etudes archéologiques sur les anciens plans de Paris des XVIe, XVIIe et XVIIIe siècles*. Paris, 1851. 253 p.
- DION, R. "Le site de Paris dans ses rapports avec le développement de la ville", pp. 17-39, in : *Paris, croissance d'une capitale*. Paris : Hachette (coll. "Colloques - Cahiers de civilisation"), 1961. 156 p.

- DUPAIN, S. *La Bièvre : nouvelles recherches historiques sur cette rivière et ses affluents depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours*. Paris, 1886. 214 p.
- DUPAIN, S. *Notice historique sur le Pavé de Paris, depuis Philippe-Auguste jusqu'à nos jours*. Paris, 1881. 337 p.
- DUPUY, P. "Le sol et la croissance de Paris", *Annales de géographie* 9, 1900, pp. 340-358.
- DUVAL, P. M. *Paris antique, des origines au IIIe siècle*. Paris : Hermann, 1961. 369 p.
- FLEURY, M. (ed.). *Carte archéologique de Paris*. Paris : Ville de Paris, 1971. 509 p., IX pl.
- FLEURY, M., HEINZELMANN, M., POULIN, J. C. *Les vies anciennes de Sainte-Genève de Paris : études critiques*. Paris, 1986. 199 p.
- FARGE, A. "L'espace parisien au XVIIIe siècle d'après les ordonnances de police", *Ethnologie française* 12(2), 1982, pp. 119-126.
- FORTIER, B. (ed.). *La politique de l'espace parisien (à la fin de l'ancien régime)*. Paris : Comité pour la Recherche et le Développement en Architecture (CORDA), 1975. 308 p.
- FRANKLIN, A. *Les anciens plans de Paris : notices historiques et topographiques*. Paris, 1878-1880. 2 vol., VIII+164 p., 264 p.
- GERARDS, E. *Paris souterrain*. Paris, [1908]. II+667 p., 19 pl.
- HALPHEN, L. *Paris sous les premiers Capétiens (987-1123) : étude de topographie historique*. Paris, 1909. 2 vol.
- KLEINDIENST, T. "La topographie et l'exploitation des «marais de Paris» du XIIe au XVIIe siècles", *Mémoires de la S.H.P.I.F.* 14, 1963, pp. 7-167.
- LAVEDAN, P. *Histoire de l'urbanisme à Paris*. Paris : Association pour la Publication d'une Histoire de Paris (coll. "Nouvelle histoire de Paris"), 1975. 634 p.
- LEMOINE, H. "Le grand égout de Paris", *Bulletin de la S.H.P.I.F.* 79-80-81, 1952-1954, pp. 37-42.
- LEMOINE, H. "Les cimetières de Paris de 1760 à 1825", *Bulletin de la S.H.P.I.F.* 51, 1924, pp. 78-110.
- LOMBARD-JOURDAN, A. *Aux origines de Paris : la genèse de la Rive droite jusqu'en 1223*. 2e éd. rev. et augm. [1ère éd. 1976]. Paris : Ed. du C.N.R.S., 1985. 224 p., XXIV pl.
- PACHTERE, F. G. de. *Paris à l'époque gallo-romaine : étude faite à l'aide des papiers et des plans de Théodore Vacquer*. Paris (coll. "Histoire générale de Paris"), 1912. XLII+192 p., XVI+X pl.
- ROBLIN, M. "Cités ou citadelles ? Les enceintes romaines du Bas Empire d'après l'exemple de Paris", *Revue des études anciennes* 53, 1951, pp. 301-311.

- ROULEAU, B. *Le tracé des rues de Paris : formation , typologie, fonctions*. 2e éd. [1ère éd. dans *Mémoires et documents du service de documentation et de cartographie géographiques* 5, 1967]. Paris : C.N.R.S., 1975. 130 p., 17 cartes.
- Il existe une 3e édition dans laquelle le sous-titre a disparu et les cartes ont été réduites, ce qui en rend la consultation difficile : ROULEAU, B. *Le tracé des rues de Paris*. Paris : Presses du C.N.R.S., 1988. 129 p., 17 cartes.
- ROULEAU, B. *Villages et faubourgs de l'ancien Paris : histoire d'un espace urbain*. Paris : Ed. du Seuil, 1985. 379 p.
- SOYER, R. *Géologie de Paris*. Paris, 1953. 610 p., VI pl., 5 cartes.
- TISSERAND, L. M. "Les îles du fief de Saint-Germain-des-Prés et la question des cimetières au XVIe siècle", *Bulletin de la S.H.P.I.F.* 4, 1877, pp. 112-131.
- VILLAIN, G. "Le sol naturel et le marais de la rive droite de la Seine"[faux titre], *Bulletin de la S.H.P.* 23, 1896, pp. 66-67.
- Pourquoi Paris ? Une métropole dans son environnement naturel*. 2e éd. [1ère éd. 1984]. Paris : Association des Géologues du Bassin de Paris, 1986. 32 p.

II. LE SOL URBAIN AUJOURD'HUI

II.1. RÉSEAUX TECHNIQUES URBAINS

- AUVRAY, J., LAPACHERIE, D. "Réhabilitation du réseau d'eaux usées de la ville de Tremblay-lès-Gonesses (Seine-Saint-Denis) : du diagnostic aux travaux", *T.S.M.* 84(5) [n° spécial "Assainissement"], 1989, pp. 263-271.
- BALADES, J. D. *et al.* "Quel avenir pour les techniques de réhabilitation des réseaux d'assainissement ?", *T.S.M.* 84(12), 1989, pp. 627-651.
- BEYAERT, G., CHEVASSU, G., LAGABRIELLE, R. "Reconnaissance rapide des projets de tranchées par radio-magnétotellurique", *B.L.L.P.C.* (152), nov.-déc. 1987, pp. 85-91.
- BISEAU, M., RUPERD, Y. "Assainissement : réhabiliter les réseaux, une alternative économique", *M.T.P.B.*, 3 févr. 1989, pp. 63-65.
- BISEAU, M., RUPERD, Y. "La réhabilitation des réseaux d'assainissement : quelques éléments de réflexion", *T.S.M.* 84(5) [n° spécial "Assainissement"], 1989, pp. 259-262.
- CADILLON, M. "La gestion des eaux usées adaptée au milieu naturel et humain : l'exemple d'Oppède (84)", *T.S.M.* 84(7-8), 1989, pp. 423-427.
- CHAUSSE, A., FAIVRE D'ARCIER, B. *Evaluation de la gêne et système de coordination des travaux de voirie*. Rapport de recherche pour le CETUR. Lyon : Laboratoire d'Economie des Transports, déc. 1989. 85 p., exempl. dactylogr.
- CHEMIN, J. "La construction des émissaires en région parisienne : l'émissaire Clichy-Achères branche de Bezons", *T.O.S.* (20) ["Les travaux souterrains en site urbain" : résumés des communications aux journées d'études de l'A.F.T.E.S., Paris, mai 1977], 1977, pp. 76-79.
- CHRISTORY, J. P. "Enjeux de la voirie urbaine en France : conception et entretien. Quelques aspects des outils disponibles et des besoins". Communication au colloque européen *La rue n'est pas une route*, L.T.M.U., Paris, oct. 1987. 57 p., exempl. dactylogr.
- CHRISTORY, J. P., LEBRET, R., SIGNON, C. "Outil d'aide à la gestion de l'entretien de la voirie urbaine : application dans le cas d'une grande ville, l'expérience de la ville de Paris", *R.G.R.A.* (641), 1986, pp. 122-137.
- COMITE DE PROSPECTIVE DES TECHNIQUES DE LA ROUTE (C.P.T.R.)-Groupe Chaussées-
Thème J. *Les outils de préparation des décisions : dialogue Décideur/ Technicien*. S. 1., mai 1988. 1 dossier, exempl. dactylogr.
- COX, G. C. "Underground heritage : a study of dereliction of sewers and water mains", *Chartered municipal engineer* 108, oct. 1981, pp. 225-239.

- DELEURENCE, J. C., ALLO, Y. *Voiries urbaines : méthodologie de diagnostic d'état d'un réseau de voirie dans une ville moyenne : SECLIN*. Trappes : L.R.O.P., 1987. n. p., exempl. dactylogr.
- DROUET, D. "Systèmes d'acteur et innovation : questions posées par les infrastructures urbaines industrialisables", pp. 68-80, in : *Les opérateurs de réseaux urbains, vol. 1*. Rapport du groupe de travail "Opérateurs de réseaux", coordinateur Dominique Lorrain. Noisy-le-Grand : C.N.R.S./G.D.R. 903 (Groupement de Recherche sur les Réseaux), déc. 1990. 155 p., exempl. dactylogr.
- DUFFAURE-GALLAIS, I., REUX, M. "Les performances des canalisations d'assainissement", *M.T.P.B.*, 7 juil. 1989 [dossier : "Protéger une ressource périssable", pp. 75-91], pp. 86-89.
- DUPUIS, J., FEUGUEUR, L. "La géologie appliquée aux études et aux travaux de canalisation souterraine de grande longueur (pipelines et feeders de gaz)", *Travaux* (279), janv. 1958, pp. 99-102.
- DUPUY, G. "Etat de la recherche en sciences sociales sur les réseaux physiques urbains", pp. 215-246, in : COMMISSION ARCHITECTURE, URBANISTIQUE SOCIETE. *Etats des lieux, thèmes émergents*, vol. 3, *Milieus et réseaux urbains*. Paris : C.N.R.S., 1985-1986. 323 p.
- DUPUY, G. *L'urbanisme des réseaux : théories et méthodes*. Paris : Armand Colin (coll. "U-Géographie"), 1991. 198 p.
- DURAND, R. "Les courants vagabonds". Communication au colloque européen *La rue n'est pas une route*, L.T.M.U., Paris, août 1987. 9 p., 13 pl., exempl. dactylogr.
- FAIVRE d'ARCIER, B., ROUTHIER, J. L., "Lascar : un Logiciel d'Aide au Suivi des Coûts d'Aménagement des Rues", *Recherche Transports Sécurité* (17), 1988, pp. 5-12.
- GANNEAU, M. "Les égouts de Paris", *Travaux* (455), 1973, pp. 40-45.
- GAUTHIER, A., LE FAUCHEUR, J. C. "Un diagnostic de réseau d'assainissement suivi de réhabilitation : le cas du SIVOM de Morlaix—Saint-Martin-des-Champs", *T.S.M.* 84(5) [n° spécial "Assainissement"], 1989, pp. 273-285.
- GERVAISE, L. "La gestion centralisée dans l'assainissement de l'agglomération parisienne", *T.O.S.* (79), 1987, pp. 21-27.
- HEINKE, G. W. "Urban infrastructure rehabilitation in Canada", *Journal of professional issues in engineering* 114(4), 1988, pp. 487-493.
- MAIRIE DE PARIS - Direction de la voirie - Service technique de la voie publique. *Conditions de réalisation des travaux sur la voie publique*. Paris : Ville de Paris, janv. 1989. n. p.
- MARTINAND, C. *Le génie urbain : rapport au Ministre de l'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports*. Paris : Documentation Française (coll. "Rapports officiels"), 1986. 304 p.

- METTIER, S. "Assainissement à Rennes : travaux d'étanchéité et de restructuration de collecteurs visitables", *Génie urbain* 38(368), juin-juil. 1990, pp. 9-13.
- MISSION, M. "La coordination des réseaux de voirie et réseaux divers en site urbain", *T.O.S.* (60) [Compte rendu des journées d'études : "Ouvrages souterrains en site urbain (...)"], 1983, pp. 286-288.
- PHILIPPE, J. P., BOUNHOURE, F. *Rationalisation de la gestion de l'entretien des voiries urbaines par la prise en compte de l'état des réseaux souterrains*. Compte rendu de recherche. Trappes : L.R.O.P., sept. 1989. 39 p., annexes, exempl. dactylogr.
- RANCHET, J., RENARD, D., VICQ, A. "Analyse et détection des eaux parasites dans les réseaux d'assainissement", *T.S.M.* 77(4), 1982, pp. 173-183.
- RENARD, D. "Diagnostic des réseaux d'assainissement de la Ferté-Alais : recherches et propositions de suppression des apports parasites", *B.L.L.P.C.* (133), 1984, pp. 49-59.
- REYNARD, D. *Etude des tassements de voirie récents survenus au centre de Paris en bordure de Seine*. Mémoire de fin d'études, E.N.P.C., 1987. 41 p., exempl. dactylogr.
- SAGNES, C. "Une nouvelle façon de concevoir les études et de gérer la documentation : France Télécom informatise la documentation technique de ses réseaux", *Génie urbain* 38(368), juin-juil. 1990, pp. 38-40.
- SALVAUDON, P. "Protection des bétons contre les attaques bactériennes et chimiques : cas particulier de la réhabilitation des ouvrages d'assainissement", *T.O.S.* (101), sept.-oct. 1990, pp. 262-264.
- S.T.U. *Mémento sur l'évacuation des eaux pluviales*. Paris : Documentation Française, 1989. 349 p.
- TRIANTAFILLOU, C. *La dégradation et la réhabilitation des réseaux d'assainissement : France, Angleterre, Etats-Unis*. Thèse, E.N.P.C. et Université de Paris XII, 1987. 2 vol., 419 p., 144 p., exempl. dactylogr.
- VILLE DE PARIS - Service des grands réseaux d'assainissement. *Enquête géotechnique sur les causes de dégradations survenues à l'émissaire Saint-Denis — Achères. Les conséquences éventuelles sur l'émissaire Clichy — Achères branche d'Argenteuil. Zone de la presqu'île d'Argenteuil (95)*. Paris, s. d. N. p., cartes.
- VINCENT-GENOT, J. "Le réseau français de pipelines de l'OTAN", *Travaux* (279), janv. 1958, pp. 5-14.
- VISNOVEC, A., BIZIEN, M., SCHELL, R., TACONET, S. *Un nouveau concept pour l'espace urbain : l'Infrastructure Urbaine Industrialisable*. S. l. n. d. 17 p.
- Apogée 94, une méthode nouvelle pour optimiser la gestion d'un réseau d'assainissement*. Plaquette de présentation. Créteil : Département du Val-de-Marne - Direction de l'équipement, avr. 1988. 16 p.

Coordination (la) technique : recommandations pour la coordination des V. R. D. dans les opérations d'aménagement, vol. 1, *Généralités*. Paris : S.T.U., 1986. 119 p.

Coordination (la) technique : recommandations pour la coordination des V. R. D. dans les opérations d'aménagement, vol. 2, *Les conduites enterrées*. Paris : S.T.U., 1986. 73 p.

Coordination (la) technique : recommandations pour la coordination des V. R. D. dans les opérations d'aménagement, vol. 4, *Les réseaux en ouvrage*. Paris : S.T.U., 1987. 217 p.

Interventions sur voiries urbaines : guide pour l'élaboration au plan local, arrêté de coordination et règlement de voirie. S. l. : Association des Ingénieurs des Villes de France/ CETUR/ L.C.P.C., 1989. 109 p.

PGCD 92 : Plan de Gestion des Chemins Départementaux. Dossier de présentation. Direction Départementale de l'Équipement des Hauts-de-Seine, févr. 1985. 40 p., exempl. dactylogr.

Première table ronde du groupement de recherche "Réseaux". Actes de la table ronde des 20-21 mai 1992. Noisy-le-Grand : G.D.R. "Réseaux" C.N.R.S., 1992. 326 p., exempl. dactylogr.

"Problèmes (les) liés à la gestion des réseaux pluviaux", *T.S.M.* 84(2), 1989, pp. 61-80.

"Réhabilitation des réseaux d'assainissement", n° spécial, *T.S.M.* 84(12), 1989.

Route et informatique. Actes du colloque international de Paris, 13-15 mars 1990. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1990. 1023 p. (Chap. 3 : "Entretien et gestion".)

Surveillance, diagnostic, réhabilitation et conditions géotechniques. S. l. n. d. N. p.

"Techniques (les) les plus récentes pour la pose de conduites et canalisations sans tranchées ouvertes", actes de la journée d'études de l'A.B.T.U.S. du 20 nov. 1990, *T.O.S.* (104), mars-avr. 1991, pp. 65-106.

II.2. MÉCANIQUE DES SOLS¹.

- AITCHINSON, G. D. "Twenty-five years of application of soil survey principles in the practice of foundation engineering", pp. 99-112, in : SIMONSON, R. W. (ed.). *Non agricultural applications of soil surveys*. Réimpression [1ère éd. in : *Geoderma* 10(1-2), 1973]. Amsterdam/Londres/New York : Elsevier (coll. "Developments in soil science", 4), 1974. VIII+178 p.
- ANTTIKOSKI, U. V., RAUDASMAA, P. J. "The map of building foundations", vol. 3, pp. 25-32, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- ARNOULD, M. "Aspects géologiques des problèmes d'urbanisme (géologie urbaine)", *A.P.C.*, 1969, pp. 261-268.
- BAUER, K. W. "The use of soil datas in regional planning", pp. 1-26, in : SIMONSON, R. W. (ed.). *Non agricultural applications of soil surveys*. Réimpression [1ère éd. in : *Geoderma* 10(1-2), 1973]. Amsterdam/Londres/New York : Elsevier (coll. "Developments in soil science", 4), 1974. VIII+178 p.
- BARENDIS, F. B. J. "Peculiar aspects in man-induced landsubsidence", vol. 3, pp. 1785-1790, in : *XIle C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Rio de Janeiro*, 13-18 août 1989. Rotterdam : Balkema, 1989. 3 vol.
- BERGERON, G., DEHAYS, H., POINTET, T. *Remontée des nappes d'eau souterraines : causes et effets*. Orléans : B.R.G.M. (coll. "Documents du B.R.G.M.", 60), 1983. 50 p.
- BLIGHT, G. E., REA, C. E., CALDWELL, J. A., DAVIDSON, K. W. "Environmental protection of abandoned tailing dams", vol. 2, pp. 303-308, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- BOHM, H., PRAMBORG, B. "Foundation documentation for conservation planning", vol. 3, pp. 37-41, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- BOHM, H., STJERNGREN, U. "Foundation reinforcement in the old town of Stockholm", vol. 3, pp. 43-50, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- BOSSE, J. *Contribution à l'étude des injections de sable très fins par le gel de silice : application aux Sables de Beauchamp de la station Auber du R.E.R. (R.A.T.P.)*. Thèse de 3e cycle, Université de Nantes, 1972. 85 p., exempl. dactylogr.
- BOULET, F., DEVERGNE, R. "Difficultés rencontrées dans les chantiers urbains", *R.F.G.* 31, 1985, pp. 23-38.

¹. Pour tout ce qui concerne l'urbanisme souterrain, voir le § III.8.

- BROQUET, J. F. *Contribution à la cartographie géotechnique de la ville de Paris : le XIII^e arrondissement*. Thèse, Paris, 1976. 197 p., exempl. dactylogr.
- CARTIER, G., LONG, N. T., POUGET, P., BARGILLAT, R., CUDENNEC, J. P. "Déchets urbains et pneumatiques usagés en génie civil", vol. 3, pp. 603-606, in : *Xe C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Stockholm, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- COLIN, P. L. *Evolution des nappes peu profondes à Paris depuis un siècle*. Projet de fin d'études, E.N.S.M.P., 1986. 62 p., exempl. dactylogr.
- DENIS, M., MASTIKIAN, L. "Le traitement des sols par injection dans le cadre des ouvrages en souterrain de la R.A.T.P.", *Travaux* (557), juil.-août 1981, pp. 53-64.
- DIDIER, G. *Stabilité des ouvrages souterrains dans les zones des remblais à Paris*. Paris : I.G.C., 1988. N. p.
- DIFFRE, P. *Hydrogéologie de Paris et de sa banlieue*. Thèse de 3^e cycle, Paris, 1969. N. p., exempl. dactylogr.
- DIFFRE, P., POMEROL, C. *Paris et environs : les roches, l'eau et les hommes*. Paris : Masson (coll. "Guides géologiques régionaux"), 1979. 176 p.
- ELPRAMA, R., VAN TOL, A. F. "Tidal analysis in urban areas", vol. 2, pp. 785-788, in : *Comptes rendus du XII^e C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Rio de Janeiro, août 1989. Rotterdam/Brookfield : Balkema, 1989. 3 vol.
- GABOS, G., NAGY, J. "Saving of towns endangered by cellars", vol. 3, pp. 107-110, in : *Xe C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Stockholm, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- HABY, R. "Déformation de la surface du sol sous l'influence des cavités souterraines : état des recherches", *Annales de l'Est* 37, 1970. 274 p.
- KIROV, B. "Influence of waste waters on soil deformations", vol. 3, pp. 1881-1882, in : *XII^e C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Rio de Janeiro, 13-18 août 1989. Rotterdam : Balkema, 1989. 3 vol.
- KUMAPLEY, N. K., ISHOLA, A. "The effect of chemical contamination on soil strenght", vol. 3, pp. 1199-1201, in : *XI^e C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de San Francisco, 1985. Rotterdam : Balkema, 1985. 5 vol.
- LE GRAND, H. E. "Urban geology and waste disposal", *Geotimes* 13(6), 1968, p. 23.
- LINDSAY, J. D., SCHEELAR, M. D., TWAEDY, A. G. "Soil survey for urban development", pp. 35-46, in : SIMONSON, R. W. (ed.). *Non agricultural applications of soil surveys*. Réimpression [1^{ère} éd. in : *Geoderma* 10(1-2), 1973]. Amsterdam/Londres/New York : Elsevier (coll. "Developments in soil science", 4), 1974. VIII+178 p.

- LUKAS, R. G. "Densification of decomposed landfill deposit", vol. 3, pp. 1725-1728, in : *XIe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de San Francisco*, 1985. Rotterdam : Balkema, 1985. 5 vol.
- LUPIAC, L. "Attitudes et tendances dans l'utilisation du sous-sol", *T.O.S.* (52), 1982, pp. 159-167.
- MEGNIEN, C. *Hydrogéologie du centre du bassin de Paris*. Paris : B.R.G.M. (coll. "Documents du B.R.G.M.", 98), 1979. 532 p.
- MERKEL, B., FREITAG, G., GROSSMANN, J., UDLUFT, P., ULLSPERGER, I. "Auswirkungen urbaner Besiedlung auf oberflächennahe Grundwasserleiter", *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* 138(2), 1987, pp. 273-286.
- MOUZA, J. du. *Les cavités souterraines de la région parisienne : classification, conditions d'existence, méthodes de détection*. Thèse de 3e cycle, Université de Paris VI, 1975. VII+287 p., exempl. dactylogr.
- PALKA, J., ZMUDZINSKI, Z. "Saving of monumental buildings in the old city of Cracow", vol. 3, pp. 143-146, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- PEEK, R. D. "Behaviour of wooden pilings in long time service", vol. 3, pp. 147-152, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- PETTRY, D. E., COLEMAN, C. S. "Two decades of urban soil interpretations in Fairfax County, Virginia", pp. 27-34, in : SIMONSON, R. W. (ed.). *Non agricultural applications of soil surveys*. Réimpression [1ère éd. in : *Geoderma* 10(1-2), 1973]. Amsterdam/Londres/New York : Elsevier (coll. "Developments in soil science", 4), 1974. VIII+178 p.
- PRUNIER-LEPARMENTIER, A. M. *Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris*. Thèse, E.N.S.M.P., 1988. ii+244 p., exempl. dactylogr.
- REYNARD, D. *Etude des tassements de voirie récents survenus au centre de Paris en bordure de Seine*. Mémoire de fin d'études, E.N.P.C., 1987. 41 p., exempl. dactylogr.
- ROBINE, J. "Un étage géologique méconnu : le poubélien urbain et ses fossiles", *Travaux souterrains* 9(157-158), 1969, pp. 264-270, 339-344.
- SAMUEL-LAJEUNESSE, R. "Les problèmes de construction sur les anciennes carrières de la région parisienne", *M.T.P.B.* 62(11), 13 mars 1965, pp. 18-33.
- SELOSSE, C. "Difficultés particulières rencontrées pour la construction de la gare Saint-Michel du R.E.R. ligne B", *T.O.S.* (86), 1988, pp. 77-82.
- SOWERS, G. F. "Foundation problems in sanitary land fills", *Journal of the sanitary engineering division-Proceedings of the American society of civil engineers (A.S.C.E.)* 94(SA1), 1968, pp. 103-116.

- SOYER, R. *Géologie de Paris*. Paris : Imprimerie nationale (coll. "Mémoires de la carte géologique de France"), 1953. 610 p., VI pl., 5 cartes.
- SOYER, R. "Le rôle des sciences géologiques en technique sanitaire", *Annales du centre d'études et de documentation paléontologiques* (7), 1954. 35 p.
- SRIDHARAN, A., NAGARAJ, T. S., SIVAPULLAIAH, P. V. "Heaving of soil due to acid contamination", vol. 2, pp. 383-386, in : *Xe C.I.M.S.T.F. Actes du congrès de Stockholm*, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- STOQUER, J. Y. *Problèmes géotechniques à Paris (carrières de calcaire grossier, de gypse, et remblais)*. Travail de fin d'études des ingénieurs des services techniques de la ville de Paris, E.N.P.C., 1985. 108 p., exempl. dactylogr.
- TERZAGHI, K. *Theoretical soil mechanics*. New York, 1942. 510 p.
- TERZAGHI, K., PECK, R. B. *Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiment*. Trad. de l'allemand. Paris : Dunod, 1965. 565 p.
- THOMACHOT. *Impact d'un aménagement urbain sur une nappe aquifère : cas de la ville nouvelle d'Evry (Essonnes)*. Compte rendu de travail. Trappes : L.R.O.P., juin 1983. 131 p.+ annexes, exempl. dactylogr.
- THOMAS, A. "Détermination et cartographie des zones de risque en mécanique des sols", vol. 1, pp. 202-211, in : *Sol et sous-sol et sécurité des constructions*. Actes du symposium national de Cannes, oct. 1973. S. 1., 1973-1974. 2 vol., 388 p., 194 p.
- TOULEMONT, M. "Les risques d'instabilité liés au karst gypseux lutétien de la région parisienne : prévision et cartographie", *B.L.L.P.C.* (150-151), 1987, pp. 109-116.
- TRIANDÉ, B. *Influence des opérations d'urbanisme sur le comportement à long terme d'un réseau de voirie urbaine. 1ère phase : éléments pour la conception d'un observatoire sur le site de Montreuil-sous-Bois*. Mémoire de D.E.S.S. "Urbanisme, Aménagement, Développement", Université de Paris VIII-Institut Français d'Urbanisme, sept. 1990. 100 p., exempl. dactylogr.
- USSEGLIO-POLATERA, J. M. *Contribution à la cartographie géotechnique de la ville de Paris : étude de la butte de Belleville (XIXe et XXe arrondissements)*. Thèse, Université de Paris III et E.N.S.M.P., 1980. XVII+271 p., exempl. dactylogr.
- VILLE DE PARIS - Service des grands réseaux d'assainissement. *Enquête géotechnique sur les causes de dégradations survenues à l'émissaire Saint-Denis — Achères. Les conséquences éventuelles sur l'émissaire Clichy — Achères branche d'Argenteuil. Zone de la presqu'île d'Argenteuil (95)*. Paris, s. d., n. p., cartes.
- VOGT, J. "La contribution possible d'un inventaire systématique des témoignages du passé à l'appréciation du comportement des terrains et à la prévision des «risques géotechniques»", vol. 1, pp. 212-217, in : *Sol et sous-sol et sécurité des constructions*. Actes du symposium national de Cannes, oct. 1973. S. 1., 1973-1974. 2 vol., 388 p., 194 p.

WARDWELL, R. E., NELSON, J. D. "Settlement of sludge landfills with fiber decomposition", vol. 2, pp. 397-401, in : *Xe C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Stockholm, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.

Assainissement et géotechnique : prise en compte des conditions géotechniques dans les projets de canalisations d'assainissement. Etude inter-agences. Ministère de l'environnement/Agence de l'eau Loire-Bretagne/L.C.P.C., 1988. 71 p.

Connaître le sous-sol : un atout pour l'aménagement urbain. Actes du colloque national de Lyon, mars 1979. Orléans : B.R.G.M. (coll. "Documents du B.R.G.M.", 8 et 29), 1979-1981. 2 vol., 1093+VI+VI p., 1 vol. V+117 p.

Evaluation (I') des risques de dégradation liés à l'environnement géologique : la méthode L.R.E.P. S. 1. : L.R.E.P./Direction Départementale de l'Équipement du Val-de-Marne (Arrondissement fonctionnel de l'eau et de l'assainissement, projet Apogée 94), juin 1987. 7 p., 2 cartes, exempl. dactylogr.

Influence des conditions géotechniques sur le comportement des canalisations d'assainissement. 1ère partie : Enquête sur les dégradations. Etude inter-agences. Agence de bassin Loire-Bretagne/L.C.P.C./L.R.E.P./L.R.O.P., mars 1985. 25 p., 77 fiches, exempl. dactylogr.

Interactions sols-structures. Actes du colloque de Paris, mai 1987. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1987. 708 p.

"Journées d'études ouvrages souterrains urbains : difficultés dans leur conception et leur réalisation, incidences sur la gestion du sous-sol", *T.O.S.* (60), 1983, pp. 261-318.

Pourquoi Paris ? Une métropole dans son environnement naturel. 2e éd. [1ère éd. 1984]. Paris : Association des Géologues du Bassin de Paris, 1986. 32 p.

Problèmes (les) posés par les nappes phréatiques à Paris. Paris : I.G.C., 1980. 60+2 p., cartes, exempl. dactylogr.

Reconnaissance des sols : boulevard de l'Hôpital. Paris : I.G.C., 1987. 11 p., cartes, exempl. dactylogr.

"Sécheresse (la) de 1989 et 1990" [faux titre], dossier, *R.F.G.* (58), janv. 1992, pp. 5-30.

Soil-structure interaction. Actes des rencontres de Londres, déc. 1984. Londres : The Institution of Structural Engineers, 1984. 76 p.

"Le sous-sol de Paris et de l'Île de France", compte rendu des journées des 14 et 21 janv. 1988, *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (23), 1988. 198 p.

"Travaux (les) souterrains en site urbain", résumés des communications aux journées d'études de l'A.F.T.E.S., Paris, mai 1977, *T.O.S.* (20), 1977, pp. 47-105.

II.3. ECOLOGIE, PÉDOLOGIE

- AIROLA, T. M., BUCHHOLZ, K. "Species structure and soil characteristics of five urban forest sites along the New Jersey Palisades", *Urban ecology* 8(1-2) [n° spécial : "Ecology of the urban forest, I"], 1984, pp. 149-164.
- BAUDOT, Y., NADASDI, I., DONNAY, J. P. "Apport de l'utilisation d'une classification supervisée aux inventaires pédologiques en milieu urbain", *Pédologie* 38(3), 1988, pp. 249-262.
- BEAUCIRE, F. *Enquête sur la notion et les pratiques de l'écologie urbaine*. Rapport de recherche pour le PIREN, 1985. 104 p. + annexes, exempl. dactylogr.
- BONNES, M. (ed.). *Urban ecology applied to the city of Rome*. Version anglaise réduite. Rome : MAB Italia (coll. "Progress report", 3), 1987. 90 p.
- BONNES, M. (ed.). *Urban ecology applied to the city of Rome*. Rome : MAB Italia (coll. "Progress report", 4), 1991. 191 p.
- BORNKAMM, R., LEE, J. A., SEAWARD M. R. D. (eds.). *Urban ecology*. Actes du 2e Symposium européen d'écologie, Berlin, 8-12 sept. 1980. Oxford/Londres : Blackwell Scientific Publications, 1982. iv+370 p.
- BOURNERIAS, M. *Guide des groupements végétaux de la région parisienne : bassin parisien, nord de la France (écologie et phytogéographie)*. 3e éd. rev. et mise à jour [1ère éd. 1968]. Préface de Paul Jovet. Paris : Masson/CDU et SEDES réunis, 1979. 483 p.
- BOYDEN, S. *Biohistory : the interplay between human society and the biosphere*. Paris : UNESCO/Carnforth : Parthenon Publishing Group (coll. "Man and the biosphere series", 8), 1992. xiv+265 p.
- BOYDEN, S., MILLAR, S., NEWCOMBE, K., O'NEILL, B. *The ecology of a city and its people : the case of Hong Kong*. Canberra : Australian National University Press, 1981. VIII+437 p.
- BREIMER, R. F., VAN KEKEM, A. J., VAN REULER, H. *Guidelines for soil survey and land evaluation in ecological research*. Paris : UNESCO (coll. "MAB Technical Notes", 17), 1986. 124 p., 1 carte.
- BURYKIN, A. M., ZASORINA, E. V. "Mineralization and humification of plant residues in young soils of technogenic ecosystems", *Soviet soil science* 21(3), 1989, pp. 90-98.
- CLEMENS, J., BRADLEY, C., GILBERT, O. L. "Early development of vegetation on urban demolition sites in Sheffield, England", *Urban ecology* 8(1-2) [n° spécial : "Ecology of the urban forest - I"], sept. 1984, pp. 139-147.
- DAMBRIN, B. *Ecologie urbaine : le cas de la région parisienne*. Thèse de 3e cycle, Université de Paris VII, 1982. 258 p., exempl. dactylogr.

- DANIELOPOL, D., GIBERT, J., HOEHN, E., INGRAM, H. *Hydrological basis of ecologically sound management of soil and groundwater*. Report of the UNESCO-ICGW working group to International Hydrological Program, 1992. 71 p.
- DAUVERGNE, P. "Les arbres en Val de Marne", *Revue des collectivités locales* (211), 1988, pp. 2-6.
- DAVIS, B. N. K. "Wildlife, urbanisation and industry", *Biological conservation* 10(4), 1976, pp. 249-291.
- DEELSTRA, T., YANITSKY, O. (eds.). *Cities of Europe : the public role in shaping the environment*. Moscou : Mezhdunarodnye otnoshenia Publishers, 1991. 391 p.
- DETTWILLER, J. "Evolution séculaire du climat de Paris : influence de l'urbanisation", *Mémorial de la météorologie nationale* (52), 1970. 83 p.
- DI CASTRI, F. *L'écologie : les défis d'une science en temps de crise, rapport au ministre de l'Industrie et de la Recherche*. Paris : Documentation Française (coll. "Rapports officiels"), 1983. 116 p.
- DOUGLAS, I. *The urban environment*. Londres : Edward Arnold, 1983. 229 p.
- DUFFEY, E. "The effects of human trampling on the fauna of grassland litter", *Biological conservation* 7(4), 1975, pp. 255-274.
- DUVIGNEAUD, P. *La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*. 2e éd. rev. et corrigée [1ère éd. 1974]. Paris : Doin, 1980. 380 p.
- ESCOURROU, G. "Quelques remarques sur la climatologie urbaine", *B.A.G.F.* 61(500-501), févr.-mars 1984, pp. 83-97.
- ESCOURROU, G. *Le climat et la ville*. Paris : Nathan (coll. "Géographie d'aujourd'hui"), 1991. 190 p.
- GARNIER, J. , BILLEN, C., SERVAIS, P., ONCLINCX, F. *Bruxelles et sa rivière : le présent, le passé et l'avenir. Modélisation du fonctionnement de l'écosystème Senne*. Rapport de recherche. Bruxelles : Groupe de Microbiologie des Milieux Aquatiques de l'Université de Bruxelles, déc. 1991. 51 p., exempl. dactylogr.
- GICQUEL, J. M. *Interactions réseaux souterrains-racines : incidence sur la santé des arbres en ville*. Rapport de stage de D.E.S.S., Institut Français d'Urbanisme-Université de Paris VIII, 1991. 38 p., exempl. dactylogr.
- GOUDIE, A. *The human impact on the natural environment*. 3e éd. [1ère éd. 1981]. Cambridge : MIT Press, 1990. xi+388 p.
- HAMADA, R. "Urban ecosystem and soil", pp. 17-28, in : NUMATA, M. (ed.). *Fundamental studies in the characteristics of urban ecosystems*. S. I., mars 1973. 129 p.
- HAMADA, R., SUZUKI, H. "A preliminary study on the comparison of bacterial counts in a small size secondary deciduous forest soil and urban soil", pp. 129-134, in : NUMATA, M. (ed.). *Studies in urban ecosystems : 1975*. Chiba, mars 1976. 149 p.

- JOVET, P., LIZET, B. "La végétation des entrepôts de Bercy : dynamique historique d'un paysage végétal urbain", *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* 27(3-4), 1980, pp. 169-201.
- LEBRUN, J. P. "Bibliographie botanique de la Région parisienne : distribution et écologie des plantes vasculaires (1635-1965)", *Cahiers des naturalistes* 25(3), 1969, pp. 45-114.
- LEE, J. A., GREENWOOD, B. "The colonisation by plants of calcareous wastes from the salt and alkali industry in Cheshire, England", *Biological conservation* 10(2), 1976, pp. 131-149.
- LIDDLE, M. J. "A selective review of the ecological effects of human trampling of natural ecosystems", *Biological conservation* 7(1), 1975, pp. 17-36.
- LOUWERSE, D. C. "Nature and the city : design and management of public green from an ecological point of view", pp. 157-163, in : *Les parcs et jardins de demain*. Actes du colloque de Paris, 4-7 oct. 1989. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1989. 366 p.
- LOVELOCK, J. E. *Gaia : a new look at life on earth*. [1ère éd. 1979]. Oxford/New York : Oxford University Press, 1987. xiii+157 p.
- LULLI, L., LORENZONI, P., LEONI, G., DELOGU, F. "Un esempio di cartografia pedologica applicata alla pianificazione territoriale", *Annali ISDS* 11, 1980, pp. 97-120.
- MARTIN, J., MAYSTRE, L. Y. (eds.). *Santé et pollution de l'air*. Lausanne : Presses Polytechniques Romandes (coll. "Gérer l'environnement"), 1988. viii+250 p. (Chap. 9 "L'espace urbain et la pollution atmosphérique".)
- MIRENOWICZ, P. *Bibliographie : écologie urbaine*. Paris : S.T.U./C.D.U., 1982. XX+99 p., exempl. dactylogr.
- NEWMAN, P. "An ecological model for city structure and development", *Ekistics* 40(239), oct. 1975, pp. 258-265.
- NIKIFOROVA, Y. M., KOZIN, I. S., TEPLITSKAYA, T. A., TSIRD, K. "Polycyclic aromatic hydrocarbons in leached chernozems and gray forest soils of natural and technogenic landscapes", *Soviet soil science* 21(3), 1989, pp. 53-61.
- NUMATA, M. (ed.). *Fundamental studies in the characteristics of urban ecosystems*. S. I., mars 1973. 129 p.
- NUMATA, M. (ed.). *Studies in urban ecosystems : 1975*. Chiba, mars 1976. 149 p.
- NUMATA, M. (ed.). *Integrated ecological studies in bay-coast cities*. Chiba, 1979-1980. 2 vol., 101 p., 136 p.
- ODUM, E. P. *Ecologie : un lien entre les sciences naturelles et les sciences humaines*. Traduction de la 2e éd. de *Ecology* [1ère éd. 1963], New York : H.R.W., 1975. Montréal : H.R.W., 1976. VII+254 p.

- OHNO, M. "Soil animals in the urban area of Tokyo (1)", pp. 50-58, in : NUMATA, M. (ed.). *Fundamental studies in the characteristics of urban ecosystems*. S. l., mars 1973. 129 p.
- PETERSEN, H., LUXTON, M. "A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes", *Oikos* (39), 1982, pp. 287-388.
- POURTRET, J. "Quelques aspects de l'origine et de l'histoire des arbres et des arbustes d'ornement", *Jardins de France* (5), mai 1977, pp. 44-50.
- PREVITALI, F. *Introduzione allo studio dei suoli*. Milan : CLESAV, 1984. 165 p.
- PREVITALI, F., DE WRACHEN, D. "Il contributo della geopedologia nella programmazione territoriale : alcuni esempi di applicazione", *Geologia applicata e idrogeologia* 14(1), 1979, pp. 139-152.
- REMOND-GUILLOUD, M. "Réparation du préjudice écologique", fasc. 1 060, 17 p., in : *Juris-Classeurs*. Paris : Ed. Techniques, 1992.
- SACHS, I. "La ville et les ressources", *Metropolis* (43), 1980, pp. 9-12.
- SAKAGAMI, K., HAMADA, R. "Soil of reclaimed land along Tokyo bay area : a case of construction discharge", pp. 18-22, in : NUMATA, M. (ed.). *Integrated ecological studies in bay-coast cities*. Chiba, mars 1979. vol. 1, 101 p.
- VICARI, J. *Agir sur la ville : essai d'écologie urbaine*. Paris : Ed. du Moniteur, 1981. 276 p.
- VIEIRA DA SILVA, J. *Introduction à la théorie écologique*. Paris : Masson (coll. "Collection d'écologie", 14), 1979. 112 p. (Chap. 10 : L'homme dans l'écosystème.)
- WEIGMANN, G. (ed.). *International scientific workshop on soils and soil zoology in urban ecosystems as a basis for management and use of green/open spaces*. Rapport du groupe de travail de Berlin, sept. 1986. Berlin/Bonn : German national committee of the UNESCO program "Man and Biosphere" (coll. "MAB-Mitteilungen", 30), oct. 1989. vi+169 p.
- WEIGMANN, G. "Structure of oribatid mite communities in the soil of urban areas", *Acarology* 2(6), 1984, pp. 917-923.
- WERNER, P., SUKKOP, H. *La nature dans la ville : rapport et recueil d'études et d'expériences*. Strasbourg : Conseil de l'Europe, 1982. 94 p.
- WOLMAN, A. "The metabolism of cities", *Scientific American* 213(3), sept. 1965, pp. 179-188, 190.
- YANITSKY, O. "Construire l'écoville : comment intégrer la théorie et la pratique", *Revue internationale des sciences sociales* 34(3) ["L'homme dans les écosystèmes"], 1982, pp. 499-511.
- Alignements des routes départementales : quels arbres pour quels paysages ? Rapport d'inventaire*. S. l. : I.D.F./Conseil Général de Seine-Saint-Denis, déc. 1989. 4 vol., pag. mult., exempl. dactylogr.
- Charte européenne des sols*. Conseil de l'Europe, août 1972. 5 p.

"Climat, pollution, santé à Paris et en Ile de France", actes de la table-ronde du 18 juin 1987, *Cahiers du C.R.E.P.I.F.* (22), 1988, pp. 5-112.

Colloque national d'écologie urbaine. Actes du colloque de Mions, 27-28 sept. 1991. Lyon : Université Claude Bernard Lyon I - Institut d'Analyse des Systèmes Biologiques et Socio-Economiques, 1992. 238 p.

Dépérissement (le) des arbres en ville. Paris : S.T.U., 1988. 61 p.

Development (the) and application of ecological models in urban and regional planning. Bonn : UNESCO/MAB, 1980. 321 p., exempl. dactylogr.

"Ecologie urbaine : des villes en action", *Metropolis* (66), 1985, pp. 2-83.

"Ecologie urbaine : nouveaux savoirs sur la ville", *Metropolis* (64-65), 1984, pp. 3-112.

Ecologie urbaine. Actes du colloque de Metz, nov. 1978. Paris : C.R.U., [1979]. 172 p.

Essai de plantation sur une décharge contrôlée de résidus urbains. S. l. : Direction générale de l'équipement d'Ile de France/L.R.O.P., janv. 1983. 69 p., exempl. dactylogr.

Forêt (la) et la ville : essai sur la forêt dans l'environnement urbain et industriel. Versailles : Ed. S.E.I./C.N.R.A., [1979]. 252 p.

"Homme (l') et la ville", actes des premières rencontres d'écologie du milieu urbain, Bondy, avril 1987, *Santé mentale-Individus et sociétés* (94-95), 1987, pp. 1-87.

"Nature in the urban landscape", *Landscape research* 6(3), hiv. 1981, pp. 1-27.

"Pollution urbaine et santé", *Pollution atmosphérique* 30(120), 1988, pp. 362-426.

Prise en compte de l'environnement dans le cadre des P.O.S. Document de travail. Paris : S.T.U., 1987. 109 p.

"Santé (la) et l'écosystème urbain", *Santé mentale-Individus et sociétés* (106), juil. 1990, pp. 2-45.

Seminario internacional sobre uso, tratamiento y gestion del verde urbano. Barcelone : Ajuntament da Barcelona (coll. Informes tècnics de l'Institut d'Ecologia Urbana", 3), nov. 1988. 116 p.

Sols stériles : réaménagement et végétalisation, l'exemple des terrils. Paris : S.T.U., 1986. 96 p.

"Vie (la) dans les eaux souterraines", *Hydrogéologie* (3), 1991 [n° spécial], pp. 161-271.

Zones (les) naturelles d'équilibre de la région Ile de France : cartes d'aptitudes des sols. Etude réalisée par l'ADEPRINA pour la Région Ile de France, [1977-1978]. Cartes, 1/50 000.

II.4. POLLUTION DU SOL

- AUST, H., KREYSING, K. "Les facteurs géologiques et la pratique de l'injection des eaux résiduaires industrielles dans des couches profondes du sous-sol en République Fédérale d'Allemagne", vol. 1, pp. 11-21, in : *Protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine*. Actes du Colloque national d'Orléans, mars 1977. 4 vol., exempl. dactylogr.
- AUST, H., KREYSING, K., WALLNER, M. *Hydrological principles for the deep-well disposal of liquid wastes and wastewaters*. Koblenz : Internationale Hydrologische Programm der UNESCO/ Operationelle Hydrologische Programm der W.M.O., 1985. 102 p., exempl. dactylogr.
- BALDIT, R. "Evolution thermique des déchets et de la pollution des eaux souterraines sur le site d'Arnouville-lès-Mantes", *B.L.L.P.C.* (139), 1985, pp. 99-111.
- BARBREAU, A., LEDOUX, E., MARGAT, J., MARSILY G. de, *et al.* "Les déchets de l'industrie nucléaire et le sous-sol", *Annales de Mines* 184(4), 1978, pp. 35-52.
- BERG, G. "Microbiology : detection, occurrence and removal of viruses", *Journal of water pollution control federation*, juin 1978, pp. 1395-1402.
- BITTON, G., DAMRON, B. L., EDDS, G. T. *Sludge : health risks of land application*. Ann Arbor Science, 1980. 367 p.
- BITTON, G., FARRAH, S. R. "Contamination des eaux souterraines par les virus", *Revue Internationale des sciences de l'eau* 2(2), 1986, pp. 31-37.
- BITTON, G., FARRAH, S. R., RUSKIN, R. H., BUTNER, J., CHOU, Y. J. "Survival of pathogenic and indicator organisms in ground water", *G.W.* 21(4), 1983, pp. 405-410.
- BLOCK, J. C., SCHWARTZBROD, L. *Analyse virologique des eaux. Techniques de mise en évidence des virus humains*. Paris : Technique et Documentation/Lavoisier, 1982. 182 p.
- BLUME, H. P., HORN, R., ALAILY, F., *et al.* "Sand Cambisol functioning as a filter through long-term irrigation with wastewater", *Soil science* 130(4), oct. 1980, pp. 186-192.
- CAOUS, J. Y., VIENNE, M. "Recherche des causes de pollution des captages d'eau potable de la nappe de la craie en Picardie", vol. 1, pp. 99-109, in : *Protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine*. Actes du Colloque national d'Orléans, mars 1977. 4 vol., exempl. dactylogr.
- CATROUX, G., COUTON, Y., VERGUET, A. "Etude du pouvoir épurateur d'un plateau absorbant utilisé en assainissement individuel", vol. 2, pp. 89-96, in : *Protection des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine*. Actes du Colloque national d'Orléans, mars 1977. 4 vol., exempl. dactylogr.
- CHAPUT, D. "Investigation hydrogéochimique d'un ancien dépotoir de déchets toxiques", *Revue internationale des sciences de l'eau* 2(2), 1986, pp. 31-37.

- DECAMPS, H. *Programme PIREN-Garonne : le rôle des interfaces terre-eau dans le fonctionnement écologique d'un système fluvial 1988-1990*. Rapport de synthèse pour le PIREN, févr. 1991. 31 p., exempl. dactylogr.
- DIEULIN, A. *Propagation de pollution dans un aquifère alluvial : l'effet de parcours*. Thèse de docteur-ingénieur, Université Paris VI et E.N.S.M.P., 1980. 207 p., exempl. dactylogr.
- DUDLEY, D. J, GUENTZEL, M. N., IBARRA, M. J. "Enumeration of potentially pathogenic bacteria from sewage sludge", *Applied and environmental microbiology*, janv. 1980, pp. 118-126.
- FILDIR, F. *Amélioration de la ressource en eau : la réalimentation des nappes*. Paris : Association Française pour l'Etude des Eaux, 1983. 171 p., exempl. dactylogr.
- FOSTER, S. S. D. "Potable groundwater supplies and low-cost sanitary engineering, how compatible?", *Natural resources forum* 9(2), 1985, pp. 125-132.
- FOULHOUZE, R. "Nitrates et eaux d'alimentation", *T.S.M.* 83(4), 1988, pp. 171-176.
- GIBERT, J., DROGUE, C. *Migration et devenir des polluants des interfaces aux écosystèmes souterrains : projet PIR-Environnement "Ecosystèmes souterrains" (1991-1994)*. Note de présentation pour le PIREN. Villeurbanne : URA C.N.R.S. 367 / Montpellier : URA C.N.R.S. 1359, mars 1991. 15 p., annexes, exempl. dactylogr.
- HAMLIN, S. N. "Hydraulic/chemical changes during ground-water recharge by injection", *G.W.* 25(3), 1987, pp. 267-274.
- HICKEY, J. J., VECCHIOLI, J. "Subsurface injection of liquid wastes with emphasis on injection practices in Florida", *United States geological survey, water supply paper* (2281), 1986, VI+25 p.
- HIMMELBLAU NELLOR, M. A. *Ealth effects of water reuse by groundwater recharge*. Center of research in water resources, University of Texas, 1980. 74 p., exempl. dactylogr.
- KEHEW, A. E., SCHWINDT F. J., BROWN, D. J. "Hydrogeochemical interaction between a municipal waste stabilization lagoon and a shallow aquifer", *G.W.* 22(6), 1984, pp. 746-754.
- KLATZMANN, J. "Effets de l'agriculture sur l'environnement : pesticides et engrais", vol. 2, pp. 104-105, in : *Etudes et recherches : 3e assises internationales de l'environnement*. Paris : Documentation Française, 1981. 4 vol.
- LANDREAU, A., MARIOTTI, A., SIMON, B. "La dénitrification naturelle dans les eaux souterraines", *Hydrogéologie* (1), 1988, pp. 35-43.
- LECLERC H. "Les bio-indicateurs bactériens de santé publique en milieu aquatique", pp. 18-50, in : *Dynamique des populations et qualité des eaux*. Paris : Gauthier-Villars, 1981.
- MATTHESS, G., PEKDEGER, A., SCHROETER, J. "Persistence and transport of bacteria and viruses in groundwater, a conceptual evaluation", *Journal of contaminant hydrology* (2), 1988, pp. 171-188.

- MEHRAN, M., OLSEN, R. L., RECTOR, B. M. "Distribution coefficient of trichloroethylene in soil water systems", *G.W.* 25(3), 1987, pp. 275-282.
- MILBERG, R. P., LAGERWERFF, J. V., BROWER, D. L., BIESDORF, G. T. "Soil lead accumulation alongside a newly constructed road", *Journal of environment quality* 9(1), 1980, pp. 6-8.
- MOREAU, R. "La pollution des eaux souterraines : hygiène et épidémiologie", in : *Hydrogéologie et vulnérabilité des nappes*. Actes du Colloque de l'Association des Techniciens en Hygiène de l'Environnement d'Azay-le-Ferron, juin 1986. n. p., exempl. dactylogr.
- PARKER, G. R., MAC FEE, W. W., KELLY, J. M. "Metal distribution in forested ecosystems in urban and rural Northwestern Indiana", *Journal of environment quality* 7(3), 1978, pp. 337-342.
- PEDERSEN, D. C. "Density levels of pathogenic organisms in municipal wastewater sludge. A litteratur review", *E.P.A.*, sept. 1981. 281 p.
- REVOIL, G. *Méthode de préconcentration des éléments traces dans les eaux : application à l'analyse multiélémentaire par plasma à couplage inductif*. Orléans : B.R.G.M. (coll. "Documents du B.R.G.M.", 91), 1985. 162 p.
- ROLNIK, H. *Dimensionner aujourd'hui un stockage de déchets de haute activité dans le sel-gemme : quelle rhéologie ?* Thèse de docteur-ingénieur, E.N.S.M.P., 1984. IV+240 p., exempl. dactylogr.
- ROUX, J. C. "Contrôle et protection de la qualité des eaux souterraines", *Hydrogéologie* (1), 1988, pp. 5-33.
- SINTON, L. W. "Microbiological contamination of alluvial gravel aquifers by septic tank effluent", *Water, air and soil pollution* (28), 1986, pp. 407-425.
- SRIDHARAN, A., NAGARAJ, T. S., SIVAPULLAIAH, P. V. "Heaving of soil due to acid contamination", vol. 2, pp. 383-386, in : *Xe C.I.M.S.T.F.* Actes du congrès de Stockholm, 1981. Rotterdam : Balkema, 1981. 3 vol.
- STEENHUIS, T. S. "A screening method for preliminary assessment of risk to groundwater from land applied chemicals", *Journal of contaminant hydrology* (1), 1987, pp. 395-406.
- VOISIN, A. *Sol, herbe, cancer*. Paris, 1957. 297 p.
- VOUVE, J. "Convergences anormales et singulières sur la biocontamination des eaux superficielles et phréatiques en milieu karstique", *Hydrogéologie* (4), 1987, pp. 223-233.
- YATES, M.V. "Septic tank density and ground-water contamination", *G.W.* 23(5), 1985, pp. 586-591.
- Protection des sols et devenir des déchets*. Actes du symposium de La Rochelle, nov. 1983. [Neuilly : Ministère de l'environnement / Angers : A.N.R.E.D., 1983], (coll. "Recherche environnement", 26). 429 p.

III. LA VIE DU SOL (XVIII^E-XX^E SIECLES)

III.1. MÉDECINE, ÉPIDÉMIES, PATHOLOGIES

BANAU, J. B. *Mémoire sur les épidémies du Languedoc*. Paris, 1786. viij+110+38 p.

BAUMES, J. B. T. *Mémoire qui a remporté le prix, en 1789, au jugement de la Société Royale de Médecine de Paris, sur la question proposée en ces termes : déterminer, par l'observation, quelles sont les maladies qui résultent des émanations des eaux stagnantes, et des pays marécageux, soit pour ceux qui habitent dans les environs, soit pour ceux qui travaillent à leur dessèchement, et quels sont les moyens de les prévenir et d'y remédier*. Nîmes, 1789. 290 p.

BECHER, J. J. *Actorum laboratorii chymici Monacensis, seu Physica subterraneae libri duo*. Francfort, 1669. XL+640 p. 2e éd. augm. Francfort, 1681. XXII+820 p.

BENOISTON de CHATEAUNEUF. "De l'influence de certaines professions sur le développement de la phthisie pulmonaire, à l'occasion d'une industrie particulière à la commune de Meusnes, département de Loir-et-Cher", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 5-49.

BERG, de. "Mémoire qui a remporté le prix proposé en 1776 sur les questions suivantes : 1°. Déterminer, par une description exacte des symptômes, à quel genre de maladie ou doit rapporter l'épidémie de 1774, 1775 & 1776, dans la Flandre, l'Artois, le Calais, le Boulonnois & l'Artois ? (...)", *M.S.R.M.*, 1777-1778, pp. 616-648.

BERNARD, C. *Principes de médecine expérimentale*. 2e éd. [1ère éd. 1947]. Paris : P.U.F., 1987. XLVIII+304 p.

BOULAY de la MEURTHE, H. G. *Histoire du choléra-morbus dans le quartier du Luxembourg, ou précis des travaux de la commission sanitaire et du bureau de secours de ce quartier, suivi de documents statistiques sur les ravages que le choléra y a exercé*. Paris, août 1832. 128 p., 1 pl.

BOULLET, M. "Sur les causes d'une épidémie de dysenterie qui a régné dans un village en Sologne, pendant l'automne de 1836", *A.H.P.M.L.*, t. 19, 1838, pp. 205-213.

BOERHAAVE, H. *Aphorismes de Monsieur Herman Boerhaave sur la connoissance et la cure des maladies*. Traduits en François par ***. Nouvelle éd. rev. et corrigée. Paris, 1745. 550 p.

BOERHAAVE, H. *Des maladies des yeux. A quoi l'on a joint son introduction à la pratique clinique ; ses leçons sur la pierre ; quelques descriptions de maladies, & quelques consultations du même auteur. Le tout traduit du Latin*. Paris, 1749. 371 p., IV pl.

BOISSIER de SAUVAGES, F. *Dissertation où l'on recherche comment l'air, suivant ses différentes qualités, agit sur le corps humain qui a remporté le prix au jugement de l'Académie Royale des Belles Lettres, Sciences & Arts*. Bordeaux, 1754. 57 p.

- BRICHETEAU. "Extrait d'un rapport de la commission des épidémies de l'Académie Royale de Médecine pour l'année 1839 et une partie de 1840", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, pp. 269-290.
- CHAMSERU, de. "Recherches sur la nyctalopie, ou l'aveuglement de nuit, maladie qui règne tous les ans dans le printemps, aux environs de la Roche-Guyon", *M.S.R.M.*, 1786, pp. 130-178.
- CLARCK, J. "De l'influence du climat sur les maladies chroniques", *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, pp. 53-91.
- DEVERGIE, A. "De la mort subite, de ses causes, de sa fréquence suivant l'âge, le sexe et les saisons", *A.H.P.M.L.*, t. 20, 1838, p. 145-179.
- GAULTIER de CLAUDRY, H. "Quelques observations sur l'influence des marais, en réponse à l'avis de MM. Orfila et Parent Duchatelet, relatif à l'état et à l'influence des pièces d'eau de M. le Comte de Sommariva", *A.H.P.M.L.*, t. 12, 1834, pp. 37-53.
- GUERRY, A. "Tableau des variations météorologiques comparées aux phénomènes physiologiques, d'après les observations faites à l'Observatoire royal et les recherches statistiques les plus récentes", *A.H.P.M.L.*, t. 1, 1829, pp. 228-234, pl.
- GUERARD, A. "Asphyxie pendant une exhumation", extrait d'un rapport présenté au Conseil de salubrité, *A.H.P.M.L.*, t. 23, 1840, pp. 131-134.
- HAMONT. "Deuxième lettre adressée à M. Leuret, sur les causes de la peste, en Egypte", mars 1830, *A.H.P.M.L.*, t. 4, 1830, pp. 223-227.
- HAMONT. "Lettre adressée à M. Leuret, sur le cholera-Morbus en Afrique", Abouzabel, 25 août 1831, *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 208-216.
- HAMONT. "Note de lecture *De la peste observée en Egypte* ; par M. Clot-Bey (Paris, 1840, 439 p.)", *A.H.P.M.L.*, t. 27, 1842, pp. 454-473.
- HOPKINS, T. "Observations sur la nature les effets du Malaria", traduit de l'anglais par A. Guérard, *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, pp. 33-60.
- JACQUIN. *De la santé, ouvrage utile à tout le monde*. Paris, 1762. 424 p.
- LANCISI, G. M. *De subitaneis mortibus libri duo*. Rome, 1707. 243 p.
- LANCISI, G. M. *De Noxiis paludum effluviis eorumque remediis libri duo*. Rome, 1717. XXXII+476 p., 1 carte.
- LEURET, F. L. "Mémoire sur l'épidémie, désignée sous le nom de cholera-morbus qui a ravagé l'Inde et qui règne dans une partie de l'Europe", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 314-441.
- LISLE, E. "Note de lecture *De la peste ou typhus d'Orient, documens et observations recueillis pendant les années 1834 à 1838, en Egypte, en Arabie, sur la mer Rouge, en Abyssinie, à Smyrne et à Constantinople ; suivi d'un essai sur le Hachich, et son emploi dans le traitement de la peste* ; par M. Aubert, docteur en médecine, ex-médecin en chef de l'hôpital des troupes de terre à Alexandrie (Paris, 1840, 288+XXXVI p.)", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, pp. 228-230.

- LISLE, E. "Note de lecture de *Relation médicale des asphyxies occasionnées à Strasbourg par le gaz d'éclairage* ; par G. Tourdes, professeur de médecine légale à la faculté de Strasbourg (Paris, 1841, 84 p.)", *A.H.P.M.L.*, t. 27, 1842, pp. 232-240.
- LOMBARD, H. C. "De l'influence des saisons sur la mortalité à différents âges", *A.H.P.M.L.*, t. 10, 1833, pp. 93-114.
- MACROBE. *Œuvres*, t. 2, *Les saturniales*. Trad. d'Henri Descamps. Paris, 1846. 497 p. (Liv. VII, § XVI : "L'œuf a-t-il existé avant la poule, ou la poule avant l'œuf ?".)
- MALGAIGNE, J. F. "Etudes statistiques sur les fractures et les luxations", *A.H.P.M.L.*, t. 22, 1839, pp. 241-269.
- MOLEON, J. G.V. de. *Du choléra-Morbus (...), extrait des meilleurs ouvrages publiés sur cette matière*. Paris, 1831. 142 p.
- MONFALCON, J. B. *Histoire des marais, et des maladies causées par les émanations des eaux stagnantes. Ouvrage couronné par l'Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Lyon*. Paris, 1824. 510 p.
- MOREAU, F. M. *Histoire statistique du choléra-morbus dans le quartier du faubourg Saint-Denis (5me arrondissement) pendant les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre*. Paris, 1833. 68 p.
- PIORRY, P. A. *Des habitations et de l'influence de leurs dispositions sur l'homme en santé et en maladie*. Paris, 1838. 157 p.
- PARISET, E. "Mémoire sur les causes de la peste, et sur les moyens de la détruire", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 243-313
- QUETELET, A. "De l'influence des saisons sur l'homme", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 561-568.
- RAMAZZINI, B. *Essai sur les maladies des artisans*. Trad. du latin avec des notes et des additions par Fourcroy [1ère éd. Padoue, 1713]. Paris, 1777. lxxv+573 p.
- RAMEL, M. F. B. *De l'influence des marais et des étangs sur la santé de l'homme ; ou mémoire couronné par la ci-devant Société Royale de Médecine de Paris, sur la question suivante : "Déterminer, par l'observation, quelles sont les maladies qui résultent des émanations des eaux stagnantes et des pays marécageux, (...) ; et quels sont les moyens de les prévenir et d'y remédier ?"*. Marseille, an X. 312 p.
- RAYMOND. "Mémoire sur les épidémies , dans lequel on recherche particulièrement : Quels sont les rapports des maladies épidémiques avec celles qui surviennent en même temps & dans le même lieu, & qu'on appelle *intercurrentes* ? Quelles sont leurs complications, & jusqu'à quel point ces complications doivent influencer sur leur traitement ?", *M.S.R.M.*, 1780-1781, pp. 36-83.
- SAILLANT. "Mémoire sur une espèce de Nyctalopie ou vue de nuit dont parle Hippocrate", *M.S.R.M.*, 1786, pp. 121-129.

- SENAC, J. B. *Traité des causes, des accidens, et de la cure de la peste, avec un recueil d'observations, et un détail circonstancié des précautions qu'on a prises pour subvenir aux besoins des peuples affligés de cette maladie, ou pour la prévenir dans les lieux qui en sont menacés*. Paris, 1744. 602+272 p.
- VICQ d'AZYR, F. , JEANROI. "Rapport fait à la Société Royale de Médecine, au sujet de l'épidémie qui a régné à Villeneuve-lès-Avignon", *H.S.R.M.*, 1776, pp. 213-225.
- VILLERMÉ, L. R. "De la mortalité dans les divers quartiers de la ville de Paris, et des causes qui la rendent très différente dans plusieurs d'entre eux, ainsi que dans les divers quartiers de beaucoup de grandes villes", *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, pp. 294-341.
- VILLERMÉ, L. R. "Des épidémies sous les rapports de l'hygiène publique, de la statistique médicale et de l'économie politique", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 5-58.
- VILLERMÉ, L. R. "De l'influence des marais sur la vie", *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, pp. 342-362.
- VILLERMÉ, L. R. "Note sur les ravages du choléra-morbus dans les maisons garnies de Paris, depuis le 29 mars jusqu'au 1er août 1832, et sur les causes qui paraissent avoir favorisé le développement de la maladie dans un grand nombre de maisons", *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, pp. 385-409.
- VILLERMÉ, L. R. "Influence des marais sur la vie des enfans", *A.H.P.M.L.*, t. 12, 1834, pp. 31-37.
- "Extrait d'un mémoire rédigé par M. Perkins, Médecin de Boston, sur la nature & l'origine des fièvres catharrales épidémiques, & remis à la Société par M. Franklin", *H.S.R.M.*, 1776, pp. 206-212.
- "Extrait d'une lettre de Berlin, en date du 5 octobre 1831, écrite par le professeur Horn à un de ses amis, à Paris, communiqué par M. Marc", *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 474-477.
- "Extrait d'une lettre écrite par M. Brière de Boismont à M. Esquirol, au sujet du choléra-morbus", Varsovie, 23 juin 1831, *A.H.P.M.L.*, t. 6, 1831, pp. 214-215
- "Note de lecture : *Conjectures sur la nature du miasme producteur du choléra asiatique* ; par M. MOJON, médecin génois ; traduit de l'italien par M. Julia de Fontenelle (Paris, 1832, 63 p.)" [faux titre], *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 236-237.
- "Note de lecture : *De la cachexie aqueuse de l'homme et du mouton, observée en Egypte*, par MM. Hamont, fondateur et directeur de l'école de médecine vétérinaire d'Abou-Zabel, etc. ; et Zeb Fischer, professeur d'anatomie et de physiologie à l'école de médecine d'Abou-Zabel", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, pp. 236-237.
- Rapport sur la marche et les effets du choléra morbus dans Paris et les communes rurales du département de la Seine - année 1832*. Paris, 1834. N. p.

III.2. TOPOGRAPHIES ET CONSTITUTIONS MÉDICALES

- AUDIN-ROUVIERE. *Essai sur la topographie physique et médicale de Paris ou dissertation sur les substances qui peuvent influer sur la santé des habitants de cette cité, avec une description de ses hôpitaux*. Paris, an II. viii+142 p.
- BAYARD, H. L. "Mémoire sur la topographie médicale du IV^e arrondissement de la ville de Paris ; recherches historiques et statistiques sur les conditions hygiéniques des quartiers qui composent cet arrondissement", *A.H.P.M.L.*, t. 28, 1842, pp. 5-46, 241-309, 3 pl.
- BETBEDER. "Topographie médicale de Bordeaux" [faux titre], *H.S.R.M.*, 1776, pp. 185-192.
- BRIEUDE, de "Topographie médicale de la Haute-Auvergne", *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 257-340.
- BROUC. "Recherches statistiques sur quelques points de l'état civil et de l'histoire médicale de l'île Martinique, et spécialement du Fort-Royal", *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, pp. 265-296.
- CAZE, LA CAUSSADE. "Topographie médicale de Montauban" [faux titre], *H.S.R.M.*, 1776, pp. 201-205.
- COTTE. "Mémoire sur la topographie médicale de Montmorenci & de ses environs", *M.S.R.M.*, 1779, pp. 61-83.
- DIDELLOT. "Topographie médicale de la Vêge" [faux titre], *H.S.R.M.*, 1777-1778, pp. 107-138.
- FORGET. "Note à consulter pour la statistique médicale de Strasbourg", *A.H.P.M.L.*, t. 23, 1840, pp. 216-224.
- GEOFFROY. "Constitution des années 1782 & 1783, avec le détail des maladies qui ont régné pendant ces deux années, à Paris", *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 1-36.
- GEOFFROY. "Constitution des années 1784 & 1785, avec le détail des maladies qui ont régné pendant ces deux années à Paris", *M.S.R.M.*, 1784-1785, pp. 1-45.
- GRAULLAU. "Topographie médicale de Langon" [faux titre], *H.S.R.M.*, 1776, pp. 192-198.
- JADELOT. "Mémoire sur la Lorraine", *M.S.R.M.*, 1776, pp. 73-96.
- LACHAISE, C. *Topographie médicale de Paris, ou examen général des causes qui peuvent avoir une influence marquée sur la santé des habitants de cette ville, le caractère de leurs maladies, et le choix des précautions hygiéniques qui leur sont applicables*. Paris, 1822. 336 p.
- LEPECQ de la CLOTURE. *Collection d'observations sur les maladies et constitutions épidémiques ; ouvrage qui expose une suite de quinze années d'observations, & dans lequel les épidémies, les constitutions régnantes & intercurrentes, sont liées, selon le vœu d'Hippocrate, avec les causes météorologiques, locales & relatives aux différens climats, ainsi qu'avec l'histoire naturelle & médicale de la Normandie. On y a joint un appendix sur l'ordre des constitutions épidémiques*. Rouen, 1778. xvj+1076 p.

- LEURET, F. L. "Note sur la fréquence des affections charbonneuses à Chartres", extrait d'une notice manuscrite sur la topographie médicale de la ville de Chartres, *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, 489-493.
- LORRY. "Constitution des années 1775 & 1776, observée à Paris", *M.S.R.M.*, 1776, pp. 1-13.
- MADIER. "Mémoire sur la topographie médicale du Bourg-Saint-Andéol", *M.S.R.M.*, 1780-1781, pp. 95-144.
- MENURET de CHAMBAUD, J. J. *Essais sur l'histoire médico-topographique de Paris, ou lettres à M. D'Aumont, Professeur de Médecine à Valence, sur le climat de Paris, sur l'état de la médecine, sur le caractère & le traitement des maladies, & particulièrement sur la petite vérole & l'inoculation.* Paris, 1786. xij+293 p.
- RAYMOND. "Mémoire sur la topographie médicale de Marseille & de son territoire ; & sur celle des lieux voisins de cette ville", lu le 31 déc. 1779, *M.S.R.M.*, 1777-1778, pp. 66-140.
- RICHARD. "Topographie médicale de Castel-Joux" [faux titre], *H.S.R.M.*, 1776, pp. 199-201.
- RICHARD, F. J. *Mémoire sur la constitution médicale des trois premiers mois de l'an 1806, et sur les maladies qui ont régné, dans Tarascon, pendant ce trimestre ; accompagné de l'ouverture des cadavres faite, cet hiver, dans l'hospice civil et militaire de cette ville.* s. l., 1807. 39 p.
- TESSIER. "Mémoire sur la Sologne", lu le 31 déc. 1777, *M.S.R.M.*, 1776, pp. 61-72.
- VILLAR. "Mémoire sur les maladies du Champsaur", lu le 2 mars 1779, *M.S.R.M.*, 1777-1778, pp. 141-154.
- "Note de lecture : *De l'influence des climats sur l'homme* ; par FOISSAC, P., médecin (Paris, 1837. 424 p)", *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, p. 499.
- "Observations météorologiques", *H.S.R.M.*, 1776, pp. 129-184.
- "Préface", *H.M.S.R.M.*, 1776, pp. vij-xl.
- "Prix : Topographie médicale", *H.S.R.M.*, 1784-1785, pp. 10-13
- "Prix : topographie médicale", *H.S.R.M.*, 1779, pp. 11-13
- "Prix : topographie médicale", *H.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 6-9.
- "Prix : topographie médicale", *H.S.R.M.*, 1786, pp. 11-12.
- "Topographie médicale : Guienne", *H.M.S.R.M.*, 1776, pp. 185-205.
Regroupe les topographies médicales de Bordeaux par Betbeder, Langon par Graullau, Castel-Joux par Richard, Montauban par Caze et La Caussade (voir à ces auteurs).

III.3. PROPRETÉ, SALUBRITÉ, ASSAINISSEMENT

- ARAGO, F. "Sur les puits forés, connus sous le nom de puits artésiens, de fontaines artésiennes, ou de fontaines jaillissantes", pp. 181-264, in : *A.B.L. pour l'année 1835*, Paris, 1834.
- BEAUDEMOULIN, L. A. "Assainissement", *Revue de l'architecture et des travaux publics* 11, 1853, pp. 306-322 ; 12, 1854, pp. 131-138.
- BERTHOLON, P. *De la salubrité de l'air des villes, et en particulier des moyens de la procurer ; ouvrage couronné par l'Académie de Lyon*. Montpellier, 1786. 102 p.
- BOUTIGNY. "L'eau qui coule sur les toitures en zinc est-elle potable ? (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 17, 1837, pp. 281-295
- BOUTIOT. *Réponse aux objections soulevées à propos des études sur le forage projeté d'un puits artésien à Troyes*. Lu le 2 avr. 1852 en la séance de la Société Académique de l'Aube. Troyes, 1852. 31 p., 1 pl.
- BRACONNOT, H. "Examen de la boue noire provenant des égouts", extrait des *Annales de Physique et de Chimie, A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 132-134.
- BRET, E. "Nettoisement et arrosage des chaussées dans les grandes villes", communication n° 33, 27 p., in : *Deuxième congrès international de la route*. Actes du congrès de Bruxelles, 1910. Paris, 1910. 1 dossier.
- BRUYERE, L. *Rapport du 9 floréal an X pour éclairer l'administration sur les moyens pour fournir l'eau nécessaire à la consommation de Paris*. Paris, an X. 48 p.
- BURGY. *Observations sur la vidange de Paris et son transport à Bondi présentées à M. le préfet de la Seine, et à MM. les membres du Conseil général du département*. Paris, 1843. 30 p.
- CADET de VAUX, A. A. *Mémoire historique et physique sur le cimetière des Innocents*. Lu à l'Académie Royale des sciences en 1781, extrait du *Journal de Physique*, juin 1783. S. l. n. d. 8 p.
- CADET de VAUX, A. A. *Avis sur les moyens de diminuer l'insalubrité des habitations qui ont été exposées aux inondations*. Paris, 1784. 16 p.
- CADET de VAUX, A. A. *Moyen de prévenir et de détruire le méphitisme des murs*. Paris, an IX. 8 p.
- CHAUVET, P. *Essai sur la propreté de Paris*. Paris, 1797. 40 p.
- CHEVALLIER, A. "Rapport à M. le Préfet de Police sur l'envasement du canal Saint-Martin", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 59-74.
- CHEVALLIER, A. "Observations sur l'hygiène publique", *A.H.P.M.L.*, t. 8, 1832, pp. 214-216.
- CHEVALLIER, A. "Assainissement des villes", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, pp. 283-291.

- CHEVALLIER, A. "Mémoire sur les égouts de Paris, de Londres, de Montpellier", *A.H.P.M.L.*, t. 19, 1838, pp. 366-424, pl.
- CHEVALLIER, A. "Des inconvénients qui résultent de l'écoulement, sur la voie publique, des eaux hydro-sulfurées provenant des bains ; moyens de faire cesser ces inconvénients", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, pp. 27-32.
- CHEVALLIER, A. *Notice historique sur le nettoyage de la ville de Paris de puis 1184 jusqu'à l'époque actuelle, pour servir à l'histoire de la salubrité et de l'hygiène publiques des grandes villes*. Paris, 1849. 62 p.
- CHEVALLIER, A., ARTHAUD, A. "Note sur l'usage du zinc et sur les inconvénients qui résultent de l'emploi de ce métal", *A.H.P.M.L.*, t. 18, 1837, pp. 352-373.
- CHEVREUL, E. "Mémoire sur plusieurs réactions chimiques qui intéressent l'hygiène des cités populeuses", lu à l'Académie des Sciences les 9 et 16 nov. 1846, *A.H.P.M.L.*, t. 50, juil.-oct. 1853, pp. 5-42
- DARCEL. "Sur l'arrosage des routes et promenades publiques", *A.P.C.*, 1er sem. 1859, pp. 316-325.
- DARCY, H. *Rapport à M. le Maire et au conseil municipal de Dijon sur les moyens de fournir l'eau nécessaire à cette ville*. Dijon, 1834. 120 p., 2 pl.
- DEHORNE, J. *Mémoire sur quelques objets qui intéressent plus particulièrement la salubrité de la Ville de Paris*. Paris, 1788. 16 p.
- DEPARCIEUX. "Mémoire sur le moyen de se garantir de l'odeur des puisards, quand on est contraint d'en faire dans le voisinage des maisons", *M.A.R.S.*, 1767, pp. 133-136, pl. 1.
- DILLON, A. *Utilité, possibilité, facilité de construire des trottoirs dans les rues Paris*. Paris, 1803. 35 p.
- DILLON, A. *Second mémoire sur les trottoirs à construire dans les rues de Paris*. Paris, s. d. 27 p.
- DORRÉ, L. *L'infection de Paris et de la banlieue : la fièvre typhoïde et la voirie de Bondy*. S. l., oct. 1883. 36 p.
- DROMEL, J. *L'assainissement de Paris et la société provisoire de Bondy, ses travaux, son programme*. Paris, 1875. 47 p.
- DUBUC, G. *Mémoire sur la culture ou fabrication indigène du salpêtre (nitrate de potasse) au moyen des végétaux et sans addition de matières animales* [1ère éd. 1825], pp. 155-181, in : DUBUC, G. *Opuscules scientifiques concernant la chimie, l'histoire naturelle, l'industrie et l'économie rurale*. Recueillis et mis en ordre par M. Dubuc fils. Rouen, 1837. XXXII+439 p.
- DU HAMEL, MONTIGNY, de, LE ROY, *et al.* "Rapport fait à l'Académie Royale des Sciences, sur les prisons, le 7 mars 1780", *M.A.R.S.*, 1780, pp. 409-424.
- DURAND-CLAYE, A. "Assainissement municipal : quantité des matière azotée expulsée chaque jour de Paris", *A.P.C.*, 1er sem. 1872, pp. 410-412.

- DURAND-CLAYE, A. *Assainissement de Paris - Commission ministérielle, ministère de l'agriculture et du commerce - Observations des ingénieurs du service municipal de Paris au sujet des projets de rapport présentés par MM. Girard et Brouardel*. Extrait des *Annales industrielles*, 24 juil., 31 juil., 21 août, 4 sept. 1881. Saint-Germain, s. d. 79 p.
- DUVERDY. *Conférence faite à Paris le 27 mai 1884 sur les eaux d'égout de Paris et la forêt de Saint-Germain*. sténographiée par Gustave Duployé. Saint-Germain, 1884. 40 p.
- EMMERY, H. C. "Egouts et bornes-fontaines", *A.P.C.*, 1er sem. 1834, pp. 241-286.
- EMMERY, H. C. "Assainissement ou écoulement des eaux pluviales et ménagères par voie d'absorption, au moyen de sondes artésiennes", *A.P.C.*, 1er sem. 1835, pp. 126-128.
- EMMERY, H. C. *Puits artésiens d'absorption : forage ordonné par la ville de Paris et exécuté par le Sr Mulot, sur les boulevards extérieurs près la barrière du Combat. Expérience sur la puissance d'absorption de ce puits*. Extrait des *A.P.C.*, 2e sem. 1835. Paris, 1836. 32 p.
- EMMERY, H. C. "Statistiques des égouts de la ville de Paris (année 1836)", *A.P.C.*, 2e sem. 1836, pp. 265-344.
- EMMERY, H. C. *Statistiques des eaux de la ville de Paris (année 1840)*. Paris, 1840. 128 p.
- FOUGEROUX de BONDAROY. "Sur un moyen proposé pour détruire le méphitisme des fosses d'aisance", *M.A.R.S.*, 1782, pp. 197-204.
- FOURCROY, de. "Recherches pour servir à l'histoire du gaz azote ou de la mofète, comme principe des matières animales", *M.S.R.M.*, 1786, pp. 346-354.
- FREMY. "Sur l'altération de l'eau des puits dans la commune de Chaville ou extrait de différentes recherches faites à l'occasion d'une discussion entre plusieurs habitants de cette commune et les propriétaires de fabriques d'eau-de-vie de fécule et de cartons, établies dans ce village", *A.H.P.M.L.*, t. 4, 1830, pp. 1-19.
- GAULTIER de CLAUBRY, H. "Rapport sur l'état et la nature des envasemens du canal Saint-Martin et sur les moyens de curage qui peuvent être employés pour le maintenir en bon état", *A.H.P.M.L.*, t. 21, 1839, pp. 295-338.
- GERAUD, M. *Essai sur la suppression des fosses d'aisances, et de toute espèce de voiries, sur la manière de convertir en combustibles les substances qu'on y renferme, &c.* Amsterdam, 1786. 179 p.
- GIRARD, P. S. "Du déplacement de la voirie de Montfaucon", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 59-84.
- GIRARD, P. S., PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Des puits forés ou artésiens employés à l'évacuation des eaux sales et infectes et à l'assainissement de quelques fabriques", *A.H.P.M.L.*, t. 10, 1833, pp. 317-366.
- GIRARD, P. S., PELLETIER, D'ARCET. "De l'assainissement de la vidange des fosses d'aisances, rapport fait à M. Mangin, préfet de police", *A.H.P.M.L.*, t. 3, 1830, pp. 358-364.

- GIRARDIN, J. "Sur l'écoulement des eaux fournies par les abattoirs de la ville de Rouen ; lettre à M. Chevallier", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, pp. 84-86.
- GOURGUE, de. *Consultation sur les causes de l'altération des arbres de la forêt de Bondy*. Paris, 1869. 3+31 p., pl.
- GUGLIELMINETTI. "Lutte contre l'usure et la poussière : l'historique du goudronnage des routes", communication n°45, 27 p., in : *Premier congrès international de la route*. Actes du congrès de Paris, 1908. Paris, 1908. 1 dossier.
- GUYTON DE MORVEAU, L. B. *Traité des moyens de désinfecter l'air, de prévenir la contagion, et d'en arrêter les progrès*. Paris, an IX-1801. xxxij+306 p.
- HALLÉ. *Recherches sur la nature et les effets du méphitisme des fosses d'aisance*. Paris, 1785. 184 p.
- HALLÉ. *Rapport sur l'état actuel du cours de la rivière de Bièvre*. Lu le 30 août 1790, extrait des *H.M.S.R.M.* S. l. n. d. 16 p., 1 pl.
- HATIN, A. F. *Essai médico-philosophique sur les moyens d'améliorer l'état sanitaire de la classe indigente et sur quelques mesures de salubrité publique propres à prévenir le développement des épidémies pestilentielles*. Paris, 1832. 8 p.
- HERICART de THURY, L. *Programme d'un concours pour le percement de puits forés suivant la méthode artésienne (...)*. Paris, 1828. 66 p., 1 pl.
- HERICART de THURY, L. *Du dessèchement des terres cultivables sujettes à être inondées*. Extrait des *Mémoires de la Société Royale et Centrale d'Agriculture*, 1831. Paris, 1831. 76 p.
- HUERNE de POMMEUSE, L. F. *Observations générales sur les causes de l'existence des marais et les moyens de les assainir*. S. l. n. d. 8 p.
- HUZARD, J. B. *De l'enlèvement des boues et des immondices de Paris, considéré sous le double rapport de la salubrité et de l'économie dans les dépenses*. Paris, 1826. 27 p.
- JANIN. *L'antiméphitique ou moyens de détruire les exhalaisons pernicieuses & mortelles des fosses d'aisance, l'odeur infecte des égouts, celle des hôpitaux, des prisons, des vaisseaux de guerre, &c, &c*. 2e éd. Paris, 1782. xxxij+80 p.
- JULLIOT, F. *Notice sur le nettoyage des rues de Paris*. Extrait de la 27e livraison du *Journal du génie civil*. Paris, 1830. 25 p.
- KUHLMANN. "Rapport sur les inconvénients qui peuvent résulter de l'emploi du cuivre dans la construction des cheminées", *A.H.P.M.L.*, t. 16, 1836, pp. 317-327.
- LABARRAQUE, CHEVALLIER, A., PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Rapport sur les améliorations à introduire dans les fosses d'aisances, leur mode de vidange, et les voiries de la ville de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 14, 1835, pp. 258-331.

- LABORIE, CADET Le Jeune, PARMENTIER. *Observations sur les fosses d'aisance, & moyens de prévenir des inconvénients de leur vidange*. Paris, 1778. 109 p.
- LAVOISIER, A. L. de. "Mémoire sur les altérations qui arrivent à l'air dans plusieurs circonstances où se trouvent les hommes réunis en société", lu le 15 février 1785, *M.S.R.M.*, 1782-1783, pp. 569-582.
- LENCAUCHEZ, A. *Note sur les vidanges, sur les égouts et sur la voirie de Bondy*. Paris, 1871. 26 p.
- LEURET, F. L. "Notice historique sur A. J. B. Parent-Duchâtelet", *A.H.P.M.L.*, t. 16, 1836, pp. v-xxiv.
- MARIÉ-DAVY, H. *Épuration des eaux d'égouts par le sol de Gennevilliers*. Extrait du *Journal d'hygiène* (20). Paris, 1880. 12 p.
- MILLE, A. A. "Mémoire sur le service des vidanges publiques de la ville de Paris", *A.P.C.*, 1er sem. 1854, pp. 129-157.
- MILLE, A. A., DURAND-CLAYE, A. *Compte rendu des essais d'utilisation et d'épuration*. Paris, 1869. 117 p., VII pl.
- MILLE, A. A., DURAND-CLAYE, A. *Note sur les essais d'utilisation et d'épuration des eaux d'égouts de Paris*. Extrait des *A.P.C.*, t. 18, 1869. Paris, 1869. 31 p., 1 pl.
- MOLEON, J. G. V. de. *Recueil des travaux du conseil de salubrité de la ville de Paris et du département de la Seine*. Paris, 1829. 2 vol.
- MOLL, MILLE, A. A. *Application de la vidange à la culture. Rapport présenté à M. le Préfet de la Seine*. Paris, 1857. 19 p.+ appendice, 1 pl.
- MONFALCON, J. B., POLINIERE, A. P. I. de. *Traité de la salubrité des grandes villes, suivi de l'hygiène de Lyon*. Paris, 1846. VIII+551 p.
- MOUGEY, H. "Notice sur les égouts de Londres, de Liverpool et d'Edimbourg", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 129-176.
- MOURGUE de MONTREDON. "Recherches sur l'origine et sur la nature des vapeurs qui ont régné dans l'atmosphère pendant l'été de 1783", lu à l'Académie des Sciences de Montpellier le 7 août 1783, *M.A.R.S.*, 1781, pp. 754-773
- NAVIER, P. T. *Sur les dangers des exhumations précipitées et sur les abus des inhumations dans les églises*. Paris, 1775. 79 p.
- OLLIVIER. "Remarques sur la nécessité d'une nouvelle mesure à prescrire après la vidange des fosses d'aisances, à l'occasion d'un cas de mort violente", *A.H.P.M.L.*, t. 24, 1840, pp. 87-96.
- ORFILA, M., PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Rapport fait au tribunal de première instance du département de la Seine, sur les féculeries et les effluves des marais" [faux titre], *A.H.P.M.L.*, t. 11, 1834, pp. 251-342.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. *Essai sur les cloaques ou égouts de la ville de Paris*. Paris, 1824. 240 p.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Rapport sur le curage des égouts Amelot, de la Roquette, Saint-Martin et autres, ou exposé des moyens qui ont été mis en usage pour exécuter cette grande opération, sans compromettre la salubrité publique et la santé des ouvriers qui y ont été employés (...)", *A.H.P.M.L.*, t. 2, 1829, pp. 5-159.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Note sur les inhumations et les exhumations qui ont eu lieu à Paris, à la suite des événements du mois de juillet 1830", *A.H.P.M.L.*, t. 4, 1830, pp. 63-79.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Recherches pour déterminer jusqu'à quel point les émanations putrides, provenant de la décomposition des matières animales, peuvent contribuer à l'altération des substances alimentaires", *A.H.P.M.L.*, t. 5, 1831, pp. 5-54.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Le rouissage du chanvre considéré sous le rapport de l'hygiène publique", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 237-337.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Des chantiers d'écarrissage de la ville de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 8, 1832, pp. 5-153.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Notice sur cette question : peut-on sans inconvénient laisser tomber en désuétude l'art. 6 de l'arrêt du Conseil d'Etat du 16 juillet 1784, relatif à l'enfouissement des animaux morts de maladies contagieuses ?", rapport fait à l'Académie Royale de Médecine, *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 109-130.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "Des obstacles que les préjugés médicaux apportent en quelques circonstances à l'assainissement des villes et à l'établissement de certaines manufactures", *A.H.P.M.L.*, t. 13, 1835, pp. 243-303.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. "De l'influence que peuvent avoir sur la santé les émanations provenant de la fonte et des préparations diverses que l'on fait subir au bitume asphaltique, rapport fait au tribunal de 1^{ère} instance du département de la Seine", *A.H.P.M.L.*, t. 14, 1835, pp. 65-87.

PARENT-DUCHÂTELET, A. J. B. *Hygiène publique ou mémoires sur les questions les plus importantes de l'hygiène appliquée aux professions et aux travaux d'utilité publique*. Paris, 1836. 2 vol. XXXVI+552 p., 708 p.

PARMENTIER. *Dissertation sur la nature des eaux de la Seine, avec quelques observations relatives aux propriétés physiques & économiques de l'eau en général*. Paris, 1787. iv+176 p.

PREFECTURE de la SEINE. *Assainissement de la Seine : épuration et utilisation des eaux d'égout*. Paris, 1876-1878. 4 t. en 1 vol., 238 p., 190 p., 159 p., 34 p.

PREFECTURE de la SEINE. *Documents relatifs aux eaux de Paris*. Paris, 1861. Pag. mult.

- PREFECTURE du DEPARTEMENT de LA SEINE. *Cahier des charges, clauses et conditions de l'adjudication des matières qui seront portées à la voirie de Bondy, depuis le 1er janvier 1843 jusqu'au 31 décembre 1850*, Paris, s.d. 9 p.
- PREFECTURE du DEPARTEMENT de la SEINE - Direction des eaux et des égouts de Paris. *Recueil des règlements sur l'assainissement*. Paris, 1872. 282 p.
- RONESSE, J. H. *Vues sur la propreté des rues de Paris*. S.l., 1782. 101 p.
- THIROUX d'ARCONVILLE, M. G. C. *Essai pour servir à l'histoire de la putréfaction*. Paris, 1766. xlvij+578 p., K pl.
- THOURET, M. A. *Rapport sur la voirie de Montfaucon lu le 11 novembre 1788*. Paris, s. d. 40 p.
- THOURET, M. A. *Rapport sur les exhumations du cimetière et de l'église des SS. Innocens ; lu dans la séance de la Société Royale de Médecine, tenue au Louvre le 3 mars 1789*. Paris, 1789. 128 p.
- TOUCHET, J. H. *Guide pratique de la vidange agricole à l'usage des agronomes, propriétaires et fermiers. Description des moyens faciles, économiques, salubres et pratiques de recueillir, de désinfecter et d'employer l'engrais humain*. 2e éd. Paris, [1868]. 88 p.
- TOURNON, A. *Moyens de rendre parfaitement propres les rues de Paris, ainsi que les quais, places, cul-de-sac, ateliers, cours, allées, manufactures, halles & boucheries, avec l'avantage de rétablir la salubrité de l'air de cette capitale, & de faire l'application de ces mêmes moyens dans toutes les villes, bourgs & autres lieux du royaume*. Paris, 1789. 76 p., 1 pl.
- TREBUCHET. "Rapports généraux des travaux du Conseil de salubrité, depuis 1829 jusqu'en 1839", *A.H.P.M.L.*, t. 25, 1841, pp. 61-99.
- VICQ d'AZYR, F. *Instructions sur la manière de désinfecter une paroisse*. Paris, 1775. 11 p.
- VICQ d'AZYR, F. *Essai sur les lieux et les dangers des sépultures ; traduit de l'italien ; publié avec quelques changemens, & précédé d'un discours préliminaire*. [Trad. de PIATTOLI, S. *Saggio intorno al luogo del seppellire* (...). Florence, 1774. 106 p]. Paris, 1778. clxvj+142 p.
- VINCEY, P. *Les gadoues de Paris et l'agriculture du département de la Seine*. Extrait des *Mémoires de la Société nationale d'agriculture française*, t. CXXXVIII. Paris, 1896. 65 p., tableaux.
- VINCEY, P. *Géohydrologie sanitaire de la région centrale du bassin parisien. I- La fièvre typhoïde à Paris et en banlieue*. Paris, 1910. 48 p.
- Chaussées (des) pavées*. s. l., 1849.
- "Consultation sur des questions de salubrité relatives au rouissage, près de Gatteville", *A.H.P.M.L.*, t. 1, 1829, pp. 335-350.
- De l'évacuation des vidanges dans la ville de Paris*. Rapports extraits de la *Revue d'hygiène et de police sanitaire* (1880-1881-1882). Paris, s. d., 133 p.

"Extrait d'un rapport fait au nom de la commission sanitaire du quartier du Jardin des Plantes ; le 8 novembre 1831", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 200-201.

"Extrait d'un rapport fait par la Commission de Salubrité du 12^e arrondissement", *A.H.P.M.L.*, t. 7, 1832, pp. 201-203.

Extrait du mémoire de M. Thouvenel, sur la formation & la fabrication du salpêtre, qui a remporté le prix à l'Académie des Sciences en 1782. Paris, 1782. 7 p.

Instructions sur l'établissement des nitrières et sur la fabrication du salpêtre, publiée par ordre du Roi par les régisseurs généraux des poudres & salpêtres. Paris, 1777. 83 p., IV pl.

Instruction sur les moyens que l'on peut employer pour connoître la qualité des Salpêtres fournis par les Salpêtriers & Entrepreneurs de Nitrières, & pour en constater séparément les déchets. Paris, 1787. 28 p.

"Mort de M. Paul Vincey", *Comptes rendus des séances de l'Académie d'Agriculture de France*, t. VI, 1920, pp. 838-840.

"Note de lecture : «Underground disposal of process wastewater», par CECIL, L. K. (*Industrial and engineering chemistry* 42(4), avr. 1950, pp. 594-599)", *L'eau* 38(1), janv. 1951, pp. 15-16.

"Prix : eudiomètre", *H.S.R.M.*, 1786, p. 3.

"Puits artésiens absorbants", *Magasin pittoresque*, 1939, pp. 238-240.

"Rapport fait au préfet de police sur une modification proposée dans le système des égouts de Paris", *A.H.P.M.L.*, t. 9, 1833, pp. 224-226.

"Rapport général des travaux du Conseil de salubrité de la ville de Paris pour l'année 1828, présenté à M. Le préfet de Police", Signé d'Arcet, Adelon, Deyeux, Leroux, Huzard père, Huzard fils, Labarraque, Girard, juge, Pelletier, Petit, secrétaire rapporteur, Bérard, vice-président, Barruel, Andral, Marc, Parent-du-Chatelet, Gaultier-de-Claubry, *A.H.P.M.L.*, t. 2, 1829, pp. 307-346.

Utilisation des eaux d'égout de la ville de Paris. Rapports et extraits des procès-verbaux des séances de la Société Impériale et Centrale d'Horticulture de France. Paris, 1870. 24 p.

III.4. GÉOGRAPHIE

- ARAGO, F. "Positions géographiques des chefs-lieux d'arrondissement", pp. 231-270, in : *A.B.L. pour l'an 1844*. Paris, 1843. 440 p.
- ARAGO, F. *Œuvres complètes*, t. 9, *Instructions, rapports et notices sur les questions à résoudre pendant les voyages scientifiques*. Paris, 1857. 644 p. (Chap II : "Phénomènes météorologiques".)
- BEAUNIER. "Mémoire sur la topographie extérieure et souterraine du territoire houiller de Saint-Etienne et de Rive-de-Gier (département de la Loire)", *Annales des Mines* 1, 1816, pp. 1-172.
- BEUDANT, F. S. *Traité élémentaire de physique*. 6e éd. Paris, 1838. x+704 p., XIV pl. (Liv. IV, 2e section, chap. IX : "Construction du baromètre propre à des opérations exactes ; mesures des hauteurs au moyen de cet instrument".)
- BONAMY. "Mémoire sur l'inondation de la Seine à Paris, au mois de décembre 1740, comparée aux inondations précédentes ; avec des remarques sur l'élévation du sol de cette ville", *Mémoires de littérature, tirés des registres de l'Académie royale des inscriptions et belles lettres* XVII (1741-1743), 1751, pp. 684-688.
- BRALLE, C. *Précis des faits et observations relatifs à l'inondation qui a eu lieu dans Paris, en Frimaire et Nivôse de l'An X de la République française*. Paris, an XI. 38 p., 1 pl., 1/14 000.
- BRISSON, B. *Essai sur le système général de navigation intérieure de la France*. Paris, 1829. xxviii+172 p., 1 pl.
- BUACHE, P. "Observations sur l'étendue et la hauteur de l'inondation du mois de décembre 1740", *M.A.R.S.*, 1741, pp. 335-337, pl. XI.
- BUACHE, P. "Exposé d'un plan hydrographique de la ville de Paris", *M.A.R.S.*, 1742, pp. 371-378, pl. XIII, XIV, XV.
- BUACHE, P. "Essai de géographie physique où l'on montre l'espèce de charpente du globe composée de chaînes de montagnes qui traversent les mers comme les terres avec quelques considérations particulières sur les différents bassins de la mer et sur sa configuration intérieure", *M.A.R.S.*, 1752, pp. 399-416.
- BUACHE, P. "Mémoire sur les différentes idées qu'on a eu de la traversée de la mer Glaciale arctique, & sur les communications ou jonctions qu'on a supposées entre diverses rivières", *M.A.R.S.*, 1754, pp. 1-18, pl. 1.
- BUACHE, P. "Exposé de divers objets de la géographie physique, concernant les bassins terrestres des fleuves & des rivières qui arrosent la France, dont on donne quelques détails et en particulier celui de la Seine", *M.A.R.S.*, 1767, pp. 504-509, pl. 17.
- CADET de VAUX, A. A. *Réflexions sur la diminution progressive des eaux*. Paris, an VIII. 8 p.

- CUVIER, G., BRONGNIART, A. *Description géologique des environs de Paris*. Paris, 1822. VIII+428 p., pl.
- DAUSSE. *Statistique des variations du niveau de la Seine, à Paris, dans le cours des quarante-neuf années comprises de 1777 à 1825*. S. l. n. d. [remis à l'Académie le 5 déc. 1831]. 15 p., 5 tabl., 2 pl.
- DEPARCIEUX. "Mémoire sur les inondations de la Seine à Paris", *M.A.R.S.*, 1764, pp. 457-486.
- DU CARLA. *Expression des nivellemens ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain ; (...) publié par M. Dupain-Triel père (...)*. Paris, 1782. 111 p.
- DURAND-CLAYE, C. L., PELLETAN, A., LALLEMAND, C. *Lever des plans et nivellement*. 2e éd. revue et augm. pour la 3e partie. Paris/Liège, 1912 (coll. "Encyclopédie des travaux publics"). 786 p.
- DUVIGNAU, A. *Exercice complet sur le tracé, le relief, la construction, l'attaque et la défense des fortifications*. Rédigé en 1768. Paris, 1830. xxiv+326 p.
- FRANCŒUR, L. B. *Traité élémentaire de mécanique, adopté dans l'instruction publique*. Paris, 1807. xij+508 p., 9 pl. (Liv. III, Chap. III, § III : "Du baromètre".)
- FRANCŒUR, L. B. *Géodésie ou figure de la terre et de ses parties ; comprenant la topographie, l'arpentage, le nivellement, la géomorphie terrestre et astronomie, la construction des cartes, la navigation*. 6e éd. augm. par le commandant Perrier. Paris, 1879. XV+552 p., X pl. (Chap. V : "Nivellement".)
- GIRARD, P. S. *Recherche sur les eaux publiques de Paris, les distributions successives qui en ont été faites, et les divers projets qui ont été proposés pour en augmenter le volume*. Paris, 1812. vij+329 p., IV pl.
- GIRARD, P. S. "Observations sur la vallée de l'Egypte et sur l'exhaussement séculaire du sol qui la recouvre", *M.A.R.S. de l'Institut de France*, t. II, 1817, pp. 185-304, 1 pl.
- GIRARD, P. S. *Mémoire sur les inondations souterraines auxquelles sont exposés périodiquement plusieurs quartiers de Paris, lu à l'Académie des Sciences le 15 juin 1818*. Paris, s. d. 16 p.
- GIRARD, P. S. "Mémoire sur le nivellement général de la France et les moyens de l'exécuter", *M.A.R.S.*, t. 7, 1824, pp. 445-461.
- GRANDJEAN de FOUCHY. "Eloge de M. Buache", lu le 13 nov. 1773, *H.A.R.S.*, 1772, pp. 135-150.
- HUMBOLDT, A. von. "Sur les lignes isothermes", *Annales de chimie et de physique* 4, 1817, pp. 102-111.
- LALANDE, J. "Table de différentes hauteurs", pp. 53-55, in : *A.B.L. pour l'an VIII*. Paris, an VII. 80 p. Table reproduite de 1798 à 1803.

- LAPLACE, P. S. *Œuvres complètes publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences par MM. les secrétaires perpétuels*. Paris, 1878-1912. 14 vol. (vol. IV, 1880, seconde partie, liv. X, chap. IV du *Traité de mécanique céleste* : "De la mesure des hauteurs par le baromètre".)
- MARALDI. "Expériences du baromètre faites sur diverses Montagnes de France", *M.A.R.S.*, 1703, pp. 229-237.
- MARINELLI, O. "Brevi considerazioni sull'impiego delle curve isometriche", réimpression [1ère éd. dans *Rivista geografica italiana* 6(7), juil. 1899, pp. 393-402], *Acta Cartographica* 12, 1971, pp. 271-280.
- PETIT, P. *Discours fait en l'assemblée de l'Hostel de Ville, tenuë le 24 may 1658 touchant les remedes qu'on peut apporter aux inondations de la Riviere de Seine*. Paris, 1658. 50 p., 1 carte.
- PRONY, G. R. de. "Notice sur les travaux des Ponts et Chaussées", pp. 87-110, in : *A.B.L. pour l'an 1809*. Paris, 1808. 121 p.
- PRONY, G. R. de. "Hauteur de l'observatoire royal de Paris, par rapport aux zéros des échelles tracées sur les ponts de cette capitale, et à d'autres ponts situés dans son enceinte. Pente de la Seine dans la traversée de Paris, etc.", pp. 152-157, in : *A.B.L. pour l'an 1815*. Paris, 1814. 260 p.
- RAMOND de CARBONNIERES, L. F. *Mémoires sur la formule barométrique de la mécanique céleste et les dispositions de l'atmosphère qui en modifient les propriétés augmentés d'une instruction élémentaire et pratique, destinée à servir de guide dans les applications du baromètre à la mesure des hauteurs*. Clermont-Ferrand, 1811. xij+275 p.
- Dictionnaire technologique ou nouveau dictionnaire universel des arts et métiers, et de l'économie industrielle et commerciale, par une société de savans et d'artistes*. Paris, 1822-1835, 22 vol. de texte, 2 vol. de planches. (Vol. 2, 1822, art. "Baromètre", par FRANCŒUR.)
- "Diverses observations de physique générale", *H.A.R.S.*, 1720, pp. 9-12 (§ II).
- "Diverses observations de physique générale", *H.A.R.S.*, 1724, pp. 15-19 (§ II).
- "Sur les différentes hauteurs de la Seine en différents temps", compte-rendu du mémoire d'Amontons, *H.A.R.S.*, 1705, pp. 32-34.
- "Table des hauteurs des points les plus remarquables du globe", pp. 169-196, in : *A.B.L. pour l'an 1813*. Paris, 1812. 201 p.
- "Tables pour calculer les hauteurs par les observations barométriques", pp. 241-257, in : *A.B.L. pour l'an 1852*. Paris, 1851. 533 p.

III.5. MÉCANIQUE DES SOLS, CONSTRUCTION

ALEMBERT, J. LE ROND d'. *Essai sur une nouvelle théorie de la résistance des fluides*. Paris, 1752. XLVI+212 p.

ALLOU, C. N. "Note sur un phénomène de physique-mécanique, et sur plusieurs autres du même genre, qui paraissaient avoir été peu remarqués jusqu'ici", *Bibliothèque Universelle de Genève - Sciences et Arts* 29, 1825, pp. 192-197.

AUBUISSON, d'. "Histoire de l'établissement des fontaines à Toulouse", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 257-316.

BARRÉ de SAINT-VENANT. "De l'emploi des toiles imperméables dans les fondations par immersion", *A.P.C.*, 1er sem. 1834, pp. 125-128.

BEAUDEMOULIN, L. A. "Observation sur un mémoire inséré dans les *Annales des Ponts et Chaussées* et relatif à l'emploi du béton dans la fondation des écluses", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 323-362.

BELIDOR, B. F. de. *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. Paris, 1729. Pag. mult.

BELIDOR, B. F. *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie*. [1ère éd. 1737]. Paris, 1810. 2 vol., XII+388 p, 423+XXVIII p.

BELGRAND, E. *Les travaux souterrains de Paris*. Paris, 1873-1887. 5 vol.

BIETTE, L. *Le métropolitain de Paris*. Paris, 1906. 85 p.

BOISVILLETTE. "Note sur la résistance à l'écrasement des matériaux, considérée dans ses rapports avec l'entretien des routes en cailloutis", *A.P.C.*, 1er sem. 1835, pp. 373-380.

BOSSUT. *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique*, Paris, 1786-1787. 2 vol.

BOSSUT, VIALLET. *Recherches sur la construction la plus avantageuse des digues, ouvrage pour servir de suite à la seconde partie de l'architecture hydraulique de M. Bélidor*. Paris, 1764. 64 p.

BULLET, P. *Traité d'architecture pratique*. Paris, 1691. XIV+392 p.

COÏC. *Mémoire sur la navigation du canal de l'Ourcq*. Paris, 1823. 41 p.

COLLIN, A. *Recherches sur les glissements spontanés des terrains argileux, accompagnées de considérations sur quelques principes de la mécanique terrestre*. Paris, 1846. 1 vol. de texte, 168 p., 1 vol. de pl., XXI pl.

CORIOLIS. "Des circonstances qui influent sur le tirage des chevaux et sur la conservation des routes dans le mouvement des voitures", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 178-188.

CORMONTAINGNE, L. de. *Architecture militaire, ou l'Art de fortifier. On y a joint un Traité de l'art de la guerre*. La Haye, 1741. 2 parties en 1 vol.

- CORREZE, MANÈS. "Mémoire sur les routes et sur le roulage", *A.P.C.*, 1er sem. 1832, pp. 145-209.
- COULOMB, C. A. "Essai sur une application des règles de *Maximis & Minimis* à quelques Problèmes de Statique, relatifs à l'Architecture", *Mémoires de mathématique & de physique, présentés à l'A.R.S. par divers savans, & lus dans ses assemblées*, vol. 7, 1773, pp. 343-382.
- COULOMB, C. A. "Expériences destinées à déterminer la cohérence des fluides et les lois de leur résistance dans les mouvements très lents", *Mémoires de l'Institut*, III, an IX (1801), pp. 246-305.
- COUPLET, M. "Deuxième mémoire sur la Poussée des Terres contre leurs Revêtemens, & la force des Revêtemens qu'on leur doit opposer", *H.A.R.S.*, 1726, pp. 106-118, 1727, pp. 139-152, 1728, pp. 113-126.
- DARCY, H. *Les fontaines publiques de la ville de Dijon : exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau. Ouvrage terminé par un appendice relatif aux fournitures d'eau de plusieurs villes, au filtrage des eaux et à la fabrication des tuyaux de fonte, de plomb, de tôle et de bitume*. Paris, 1856. 1 vol. de texte, 647 p., 1 atlas, 28 pl.
- DELANGES, P. *Esperienze ed osservazioni intorno alla pressione delle terre, e alla resistenza di muri, che le medesime terre sostengono, la di loro composizione naturale impedendo*. Vérone, 1779.
- DEVILLIERS, R. E. *Description du canal de Saint-Denis et du canal Saint-Martin*. Paris, 1826. 1 vol. de texte, 62 p., 1 vol. de pl.
- DEVILLIERS, R. E. "Fondations sur sable ; note adressée à la commission des *Annales*, sous la date du 12 févr. 1836", *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 404-405.
- DEVILLIERS, R. E. "Recherches sur la quantité d'action développée par les chevaux de roulage, montant des pentes diversement inclinées", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 1-12.
- DUPIN, C. *Développements de géométrie, avec des applications à la stabilité des vaisseaux, aux déblais et remblais, au défilement, à l'optique, etc. pour faire suite à la géométrie descriptive et à la géométrie analytique de M. Monge ; théorie*. Paris, 1813. xx+373 p., XI pl.
- DUPIN, C. *Applications de géométrie et de mécanique, à la marine, aux ponts et chaussées, etc. pour faire suite aux développements de géométrie*. Paris, 1822. xxxv+330 p., XVII pl.
- FRANÇAIS. "Mémoire sur la poussée des terres, la forme et les dimensions des murs de revêtement et sur les talus d'excavation", *M.O.G.* 4, pp. 157-208.
- GAUTHEY, E. M. *Traité de la construction des ponts*. Paris, 1812. 2 vol.
- GAUTIER, H. *Traité des fortifications, contenant la démonstration et l'examen de tout ce qui regarde l'art de fortifier les places tant régulières qu'irrégulières*. Lyon, 1685. VI + 251 p.
- GAYANT. "Épaisseur des murs de revêtement. Mur de l'arrière-port de Dieppe", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 62-66, pl. XI.

- GIRARD, P. S. "Mémoire sur le mouvement des fluides dans les tubes capillaires et l'influence de la température sur ce mouvement", *Mémoires de la Classe des Sciences mathématiques et physiques de l'Institut de France*, t. 14, 1813-1815, pp. 249-280.
- GIRARD, P. S. "Mémoire sur l'écoulement linéaire de diverses substances liquides par des tubes capillaires de verre", *Mémoires de l'A.R.S. de l'Institut de France*, 2e série, t. I, 1817, pp. 187-259.
- GIRARD, P. S. *Mémoire sur l'écoulement uniforme de l'air atmosphérique et du gaz hydrogène carboné dans les tuyaux de conduites*. Extrait des *Annales de chimie et de physique*. Paris, 1819. 24 p.
- GIRARD, P. S. *Mémoires sur le canal de l'Ourcq*. Paris, 1831-1843. 2 vol., 1 atlas.
- GIRARD de CAUDEMBERG. "Extrait d'un mémoire en date du 6 juin 1831, sur un nouveau système d'empierrement et d'entretien des routes", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 333-340.
- GIRARD de CAUDEMBERG, "Note sur le mémoire de MM. Corrèze et Manès, inséré en 1832, dans le 2e cahier des *Annales des Ponts et Chaussées*", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 173-177.
- HUBER-BURNAND, P. "Lettre de M. Huber-Burnand à M. le professeur Prévost, sur l'écoulement et la pression du sable", *Bibliothèque universelle de Genève - Science et Arts* 40, 1829, pp. 22-37.
- LAMBEL, de. *Applications du principe des vitesses virtuelles à la poussée des terres et des voûtes, renfermant un nouveau principe de stabilité, duquel on a déduit des moyens de construire, avec moins de dépense, les voûtes et les revêtements actuellement en usage, principalement dans les constructions militaires, en augmentant leur utilité, leur stabilité et leur durée*. Metz, 1822. 68 p., 1 pl.
- LEBLANC, M. "Mastics bitumineux", *A.P.C.*, 1er sem. 1837, pp. 168-176.
- LE GOUX de FLAIX. "Notice sur une méthode de fonder en substituant des puits en maçonnerie aux pilotis", *M.O.G.* 2, 1802, pp. 125-130.
- M. B. "Construction et dimensions des diverses parties d'une route en empierrement, largeur de la chaussée proportionnelle à la fatigue de chaque route", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 259-286 bis.
- M. B. "Expériences pour mesurer, dans des circonstances données, et d'une manière directe, l'action destructive du roulage sur les routes en empierrement", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 177-200.
- MAHIEU. "Effets des nouveaux modes de locomotion sur les chaussées : dégradations dues à la vitesse", communication n° 77, 12 p., in : *Premier congrès international de la route*. Actes du congrès de Paris, 1908. Paris, 1908. 1 dossier.
- MARIOTTE. *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides, divisé en V parties. Mis en lumière par les soins de M. de la Hire*. Paris, 1686. 408 p.
- MARY. "Canal de la Somme : notice sur la fondation par caisson de l'écluse de Froissy", *A.P.C.*, 1er sem. 1831, pp. 318-334.

- MARY. "De l'emploi du béton dans la fondation des écluses", *A.P.C.*, 1er sem. 1832, pp. 66-105
- MARY. "Note sur diverses fondations en sable, exécutées à Paris", *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 211-214.
- MASCLET. "Système hydraulique-économique de la ville d'Edinburgh", *Journal du Génie Civil* 8, 1830, pp. 441-462.
- MAYNIEL. *Traité expérimental, analytique et pratique de la poussée des terres*. Paris, 1808. XX+316 p.
- MAZEROLLE, L. "Choix du mode de revêtement", communication n° 43, 29 p., in : *Deuxième congrès international de la route*. Actes du congrès de Bruxelles, 1910. Paris, 1910. 1 dossier.
- MAZEROLLE, L. "Pavage en bois", communication n° 31, 35 p., in : *Troisième congrès international de la route*. Actes du congrès de Londres, 1913. Paris, 1913. 1 dossier.
- MESNAGER, A. "Pierres naturelles à utiliser dans la construction et l'entretien des routes", communication n° 16, 5 p.+ annexes, in : *Deuxième congrès international de la route*. Actes du congrès de Bruxelles, 1910. Paris, 1910. 1 dossier.
- MINARD, C. J. *Cours de construction des ouvrages qui établissent la navigation des rivières et des canaux, professé à l'Ecole des ponts et chaussées de 1832 à 1841*. Paris, 1841. 2 vol., 1 vol. de texte VIII+425 p., 1 vol. de 36 pl.
- MOREAU. "Notice sur une nouvelle manière de fonder sur un mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.*, vol. 11, 1832], *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 171-190.
- MOUZÉ. *Traité de fortification souterraine, suivi de quatre mémoires sur les mines*. Paris, an XII (1804). VII+434 p., 20 pl.
- NAVIER, H. *Résumé des leçons données à l'Ecole royale des Ponts et chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines, 1ère partie, contenant les leçons sur la résistance des matériaux, et sur l'établissement des constructions en terre, en maçonnerie et en charpente*. Paris, 1826. xj+428 p., V pl.
- NAVIER, H. *Résumé des leçons données à l'Ecole royale des Ponts et chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines, 2e partie, leçons sur le mouvement et la résistance des fluides, la conduite et la distribution des eaux*. Paris, 1826. xxi+342 p.
- NAVIER, H. "Considérations sur les travaux d'entretien des routes en Angleterre. Procédés de M. Mac Adam", *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 132-156.
- NIEL. "Mémoire sur l'emploi du sable dans les fondations en mauvais terrain", [1ère éd. in : *M.O.G.*, vol. 12, 1835], *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 190-211.
- OERSTED, H. C. "Construction du piézomètre, instrument pour mesurer la compressibilité de l'eau", *Annales de chimie*, 2e série, vol. 16, 1821, pp. 321-345.
- OLIVIER. "Sur les fondation sur sable et les chapes en goudron minéral", *A.P.C.*, 1er sem. 1837, pp. 177-181.

- PAPACINO d'ANTONI, A. V. *Institutions physico-mécaniques, à l'usage des écoles royales d'artillerie et de génie de Turin*. Trad. de l'italien [1ère éd. italienne : Turin, 1773-1774, 2 vol.]. Strasbourg, 1777. 2 vol.
- PAPACINO d'ANTONI, A. V. *Dell'architettura militare*. Turin, 1778-1782. 6 vol.
- PARTIOT. "Notice sur les largeurs à assigner aux chaussées et aux trottoirs des villes", *A.P.C.*, 2e sem. 1838, pp. 77-82.
- PERSY, N. *Cours sur la stabilité des constructions à l'usage des élèves de l'Ecole royale de l'artillerie et du génie*. Metz, 1825. 40+62 p., 2 pl., lithographié.
- PFLUGER. "Arts mécaniques : de l'emploi de la méthode de Jessop et de celle de Varnhagen dans les carrières de Soleuse", *Bibliothèque universelle de Genève - Science et Arts* 30, 1825, pp. 231-234.
- POISEUILLE, J. L. "Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans des tubes de très petits diamètres", *Mémoires présentés par divers savants à l'A.R.S. de l'Institut de France*, vol. 9, 1846, pp. 433-545.
- POLONCEAU, A. R. *Notice sur quelques parties des travaux hydrauliques*. Paris, 1829. 44 p., II pl.
- PONCELET, J. V. "Mémoire sur la stabilité des revêtements et de leur fondation", *M.O.G.*, vol. 40, 1840, pp. 7-270.
- PREVOST. "Réponse de M. Prevost à M. P. Huber-Burnand", *Bibliothèque universelle de Genève - Science et Arts* 40, 1829, pp. 37-40.
- PRONY, G. R. de. *Recherches sur la poussée des terres, et sur la forme et les dimensions à donner aux murs de revêtement ; suivie d'une méthode pratique, à la portée des Ouvriers qui ont quelque habitude de se servir de la règle et du compas, pour résoudre très-facilement les principaux Problèmes relatifs à la forme et aux dimensions des murs de revêtement*. Paris, an X [1802]. 44 p., 1 pl.
- PRONY, G. R. de. *Des marais pontins, description hydrographique et historique des Marais Pontins, relief du sol, cadastre, détails intérieurs, etc.* Paris, 1818. LXIV+582 p.
- PRONY, G. R. de. *Description hydrographique et historique des marais pontins (...)*. Paris, 1822. 1 vol. de texte, XLIV+454 p., 1 vol. de pl.
- RONDELET, J. B. *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Paris, an XI [1802]-1817. 5 t., xxviii+448 p., 349 p., 412 p., 382+7 p., pp. 383-562, pp. 562-886+93 p., r+xxxv+346 p.
- SCHWILGUÉ, S. A. "Mémoire sur les routes et sur le roulage", extrait du mémoire adressé à l'administration le 28 janv. 1828, *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 189-249.
- TERZAGHI, K. *Theoretical soil mechanics*. New York, 1942. 510 p.
- TERZAGHI, K., PECK, R. B. *Mécanique des sols appliquée aux travaux publics et au bâtiment*. Trad. de l'allemand. Paris : Dunod, 1965. 565 p.

TRESAGUET. "Mémoire sur la construction et l'entretien des chemins de la généralité de Limoges", envoyé à l'administration le 17 sept. 1775, *A.P.C.*, 2e sem. 1831, pp. 243-258.

TREUSSART, C. L. *Mémoire sur les mortiers hydrauliques et sur les mortiers ordinaires*. Paris, 1829. III+236 p.

VAUVILLIERS. "Instruction sur la construction des routes en Prusse", *A.P.C.*, 2e sem. 1835, pp. 1-33.

VICAT, L. "Observations sur les causes de la compression dont les mortiers ou cimens calcaires sont susceptibles", *A.P.C.*, 2e sem. 1832, pp. 257-260.

VIEL, C. F. *Des fondemens des bâtimens publics et particuliers*. Paris, an XII (1804). 36 p.

Notes sur le devis : observations sur l'analyse des prix des différens ouvrages dépendant du service du Génie. S. 1., 1828. 148 p.

Rapport d'une commission spéciale d'ingénieurs du corps royal des ponts et chaussées sur la situation des travaux du canal de l'Ourcq et de ses dépendances à l'époque du 1er janvier 1816 ; et sur les dépenses qui restent à faire, à la même époque, pour terminer cette entreprise. Paris, 1819. 208 p., 6 pl.

III.6. VÉGÉTATION

- ALPHAND, A. *Les promenades de Paris*. Réimpression [1ère éd. 1867-1873]. Princeton : Princeton Architectural Press, 1984. LIX+246+N p., pl.
- BOULY DE LESDAIN, M. *Ecologie (phanérogames-mousses-lichens) de quelques sites de Paris*. Paris, 1948. 87 p.
- DUHAMEL DU MONCEAU, H. L. *La physique des arbres ; où il est traité de l'anatomie des plantes et de l'économie végétale : pour servir l'introduction d'un traité complet des bois & des forests : avec une dissertation sur l'utilité des méthodes de botanique ; & une explication des termes propres à cette science, & qui sont en usage pour l'exploitation des bois & des forêts*. Paris, 1758. 2 vol., lxxviii+306 p., iij+432 p., pl.
- HAECKEL, E. *Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles*. 3e éd. [1ère éd. 1874]. Trad. de l'allemand et rev. de la 7e éd. allemande. Paris, 1884. XII+606 p.
- INGEN-HOUSZ, J. *Expériences sur les végétaux, spécialement sur la propriété qu'ils possèdent à un haut degré, soit d'améliorer l'air quand ils sont au soleil, soit de le corrompre la nuit, ou lorsqu'ils sont à l'ombre*. Trad. de l'anglais par l'auteur. Paris, 1787-1789. 2 vol., cxij+384 p., lvj+509 p.
- JEANPERT, H. E. *Vade-mecum du botaniste dans la région parisienne*. Paris, 1911. 231 p., 1 634 fig.
- JOVET, P. "Plantes rudérales, adventices et naturalisées de Paris et de sa banlieue", *B.S.B.F.* 87, 1940, pp. 286-299.
- JOVET, P. "Evolution des groupements rudéraux parisiens", *B.S.B.F.* 87, 1940, pp. 305-312.
- JOVET, P. "Végétation des lignes aériennes du chemin de fer métropolitain de Paris", *B.S.B.F.* 92, 1945, pp. 92-97, 105-109.
- LINNÉ, C. von. *L'équilibre de la nature*. Extrait des *Amoenitates academicae* [1ère éd. 1749-1769]. Trad. du latin par B. Jasmin. Présentation de Camille Limoges. Paris : Vrin, 1972. 172 p.
- NYLANDER, W. "Les Lichens du jardin du Luxembourg", *B.S.B.F.* 13, 1866, pp. 364-372.
- NYLANDER, W. *Les lichens des environs de Paris*. Paris, 1896. 142+20 p.
- PITTON de TOURNEFORT, J. *Histoire des plantes qui naissent aux environs de Paris (...)*. Paris, 1698. 543 p.
- TILLET, M. *Expériences et observations sur la végétation du Blé dans chacune des matières simples dont les terres labourables sont ordinairement composées, & dans différens mélanges de ces matières, par lesquels on s'est rapproché de ceux qui constituent ces mêmes terres à labour*. Tirées des registres de l'A.R.S. Paris, 1774. 60 p.

TILLET, M. *Moyen de préparer le Bled avant de le semer, & pour le préserver de la carie, dont la cause est attribuée mal-à-propos, aux brouillards. Extrait du Précis des expériences de M. Tillet, faites par ordre du Roi à Trianon sur la cause de la corruption des Bleds & les moyens de la prévenir.* Valenciennes, 1785. 8 p.

III.7. ARCHITECTURE, URBANISME, AMÉNAGEMENT

BARDET, G. *Naissance et méconnaissance de l'urbanisme : Paris*. Paris, 1951. 436 p.

GOULET, N. *Observations sur les embellissemens de Paris et sur les monumens qui s'y construisent. Projets d'architecture et d'amélioration, suivis d'une nouvelle distribution des arrondissemens municipaux de Paris ; et d'une essai sur les contributions*. Paris, 1808. iv+432 p.

LAUGIER, M. A. *Observations sur l'architecture*. La Haye, 1765. xvj+326 p.

LUBERSAC, C. F. de. *Discours sur les monumens publics de tous les âges et de tous les peuples connus suivi d'une description du monument projeté à la gloire de Louis XVI et de la France terminé par quelques observations sur les principaux monumens modernes de la ville de Paris, & plusieurs projets de décoration & d'utilité publique pour cette Capitale*. Paris, 1775. viij+228+lxxiv p., 2 pl.

PATTE, P. *Monumens érigés en France à la gloire de Louis XV, précédés d'un tableau du progrès des Arts et des Sciences sous ce règne, ainsi que d'une description des honneurs et des monumens de gloire accordés aux grands hommes, tant chez les anciens que chez les modernes ; et suivis d'un choix des principaux projets qui ont été proposés, pour placer la statue du Roi dans les différens quartiers de Paris*. Paris, 1767. 236 p., LVII pl.

PATTE, P. *De la manière la plus avantageuse d'éclairer les rues d'une ville pendant la nuit, en combinant ensemble la clarté, l'économie et la facilité de service*. Amsterdam, 1768. 68 p., 1 pl.

PATTE, P. *Mémoire sur les objets les plus importants de l'architecture*. Réimpression de l'éd. de Paris, 1769. Genève : Minkoff reprint, 1973. 375 p. (Chap. 1 : "Considérations sur la distribution vicieuse des villes, & sur les moyens de rectifier les inconvéniens auxquels elles sont sujettes".)

PATTE, P. *Mémoires qui intéressent particulièrement Paris*. Paris, an IX. 56+27+19 p.

"Vers un Paris nouveau ?", *Cahiers de la République des lettres, des sciences et des arts* (12), s. d. [1929]. 124 p.

III.8. URBANISME SOUTERRAIN

Le chapitre qui traite de l'urbanisme souterrain a été réalisé grâce au dépouillement de l'organe du G.E.C.U.S. (*Le monde souterrain* (1933-1967), *Revue des techniques, de l'urbanisme et des travaux souterrains* (1967-1970), *Travaux souterrains* (1971-1975) et des actes des trois congrès premiers congrès internationaux qu'il a organisés. Nous ne détaillerons pas ici chacun des articles que nous avons utilisés afin de ne pas alourdir inutilement cette bibliographie. Nous indiquons néanmoins quelques-uns d'entre eux, qui permettent d'avoir un aperçu général des travaux du groupe. Nous mentionnons aussi quelques ouvrages complémentaires. Enfin, il nous a semblé difficile de séparer les publications actuelles de celles du G.E.C.U.S. Elles sont donc répertoriées ici.

- AIRALDI, L. "A proposito del miglioramento dell'ambiente urbano in Europa : qualche annotazione sul caso di Milano con particolare riferimento ai parcheggi sotteranei", *Territorio* (3), 1989, pp. 108-123.
- ALLINNE, P. "Expropriation en tréfonds dans la région parisienne : les modalités d'indemnisation", *T.O.S.* (52), 1982, pp. 168-173.
- BIZET, B. "Constructions en sous-sol : le droit fait son trou", *M.T.P.B.*, 30 mars 1990, pp. 52-56.
- BIZET, B., DUFFAUT, P. "L'occupation profonde du sous-sol des villes : des modalités juridiques pour demain", communication au colloque *Fondations profondes*, E.N.P.C., avr. 1991. 4 p. exempl. dactylogr.
- BORNECQUE, E. "La civilisation nouvelle et l'âge souterrain", *Monde souterrain* (43), oct. 1947, pp. 6-7.
- BORNECQUE-WINANDYE, E. "Pour l'élaboration par les états d'un plan d'aménagement tréfoncier financé par l'imposition de la plus-value immobilière souterraine", *Monde souterrain* 9(153), janv.-févr.-mars 1968, pp. 45-46.
- BOYER, L. L. (ed.). *Advances in geotectural design : Second international earth sheltered buildings conference*. Actes du colloque de Minneapolis, 16-19 juin 1986. College Station : Texas A&M University - Department of Architecture, 1986. xi+327 p.
- BOYER, L. L. (ed.). *5th International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Structures*. Actes du colloque de Delft, 3-5 Août 1992. Delft : Delft University Press, 1992. 873 p.
- BREGEON, J. *Introduction à l'aménagement du sous-sol*. Thèse, Université d'Aix-Marseille I, déc. 1983. 326 p., exempl. dactylogr.
- DUFFAUT, P. "Offre et demande d'espace souterrain dans le Val-de-Marne", *T.O.S.* (99), mai-juin 1990, pp. 146-150.

- DUFFAUT, P. "Le génie civil souterrain au service de l'environnement", communication au *Congrès international Innovation, progrès industriel et environnement* (thème B7 : infrastructures et génie civil), Strasbourg, 4-6 juin 1991. 13 p. exempl. dactylogr.
- DUFFAUT, P. "Relations entre la ville et son sous-sol : connaissance géologique du sous-sol, inventaire des potentialités", exposé introductif à la réunion sur l'utilisation du sous-sol urbain du Conseil Général des Ponts et Chaussées, 10 oct. 1991. n. p. , exempl. dactylogr.
- DUFFAUT, P. "Utilisation du sous-sol et génie souterrain", *T.O.S.* (54), nov.-déc. 1982, pp. 255-260.
- G.E.C.U.S., *Programme, activité, statuts, 1933-1934*. S. l. n. d. 24 p.
- HEIM de BALSAC, R. "L'urbanisme souterrain", *T.O.S.* (60) [Compte rendu des journées d'études "Ouvrages souterrains en site urbain (...)"] , 1983, pp. 288-291.
- HELENE, M. *Les galeries souterraines*. Paris, 1876. 352 p.
- HENARD, E. *Etudes sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme*. Réimpression [1ère éd. 1903-1910]. Présentation de J. L. Cohen. Paris : L'équerre (coll. "Formes urbaines"), 1982. XX+364 p. (Dans les «autres écrits sur l'urbanisme» : "Les villes de l'avenir".)
- HUGUENARD, P., DESFEMMES, C., NOTO, R. "Tunnels urbains de grande longueur. Evaluation des risques. Médecine de catastrophe", vol. 2, pp. 391-404, in : *Risques majeurs, crises et métropoles : enjeu des années 2000 ?* Actes du colloque de Madrid, 27-29 janv. 1988. Paris : Association Métropolis, 1988. 2 vol.
- JORDANT, P. "Les projets d'autoroutes souterraines à Paris", 2e question, fasc. 2, in : *Deuxième congrès international des autoroutes*, Milan, 1935.
- MASSARD, E. "Paris se congestionne, comment peut-on le guérir ?", *La science et la vie* (10), janv. 1914, pp. 26-42.
- ROBINE, J. "Un étage géologique méconnu : le poubélien urbain et ses fossiles", *Travaux souterrains* 9(157-158), 1969, pp. 264-270, 339-344.
- ROUSSET, G. (ed.). *Stockage en souterrain*. Actes des journées d'étude de l'E.N.P.C., Paris, 13-15 nov. 1990. Paris : Presses de l'E.N.P.C., 1990. 351 p.
- RUSSAC, J. M. *L'utilisation intensive des sols urbains : analyse technique et juridique des plans-masse à forte densité*. S. l. n. d. 19 p.
- SAFFRE, E. "Le climat par la couleur", *Monde souterrain* (55), oct. 1949, pp. 258-260.
- THURWANGER, J. "Doctrine : principes directeurs de l'urbanisme souterrain par la commission du Code de l'Urbanisme Souterrain du G.E.C.U.S.", *Monde souterrain* (43), oct. 1947, pp. 2-3.
- UTUDJIAN, E. *Architecture et urbanisme souterrains*. Préface de Michel Ragon. Paris : Robert Laffont (coll. "Construire le monde"), 1966. 102 p.

- UTUDJIAN, E. *Conférences sur l'urbanisme souterrain. 1 : Techniques des aménagements souterrains*. Texte des 24 conférences données à l'E.N.S.B.A. Paris : Centre de diffusion des cours de la grande masse, [1959]. 192 p.
- UTUDJIAN, E. *L'urbanisme souterrain*. Paris, 1952. 125 p.
- VERPRAET, G. *Paris, capitale souterraine*. Paris : Plon, 1964. 339 p.
- "4e congrès international de l'urbanisme souterrain et des techniques des travaux en sous-sol, Varsovie, du 1er au 7 juin ; voyage d'études du 6 au 12 juin 1965", *Monde souterrain* 8(147), juil.-août-sept. 1966, pp. 155-159.
- Activité (I') au sous-sol (1936-1937)*. Paris, [1936-1937]. 160 p.
- "A.F.T.E.S. Groupe de travail Utilisation du sous-sol urbain — 1er sous-groupe : Utilisation du sous-sol du domaine public pour la desserte des immeubles", *T.O.S.* (23), sept.-oct. 1977, pp. 215-220.
- "A.F.T.E.S. Groupe de travail Utilisation du sous-sol urbain — 2e sous-groupe : Utilisation du sous-sol urbain pour l'extension des villes", *T.O.S.* (24), nov.-déc. 1977, pp. 251-263.
- "A.F.T.E.S. Groupe de travail Utilisation du sous-sol urbain — 3e sous-groupe : Utilisation du sous-sol urbain pour l'aménagement des transports publics en site propre", *T.O.S.* (25), janv.-févr. 1977, pp. 10-18.
- "Autoroutes souterraines de Paris", *Monde souterrain* (57), févr. 1950, pp. 303-318 ; (58), mai 1950, pp. 333-344.
- "Etudes préliminaires au schéma directeur d'aménagement souterrain des Halles : projet G.E.C.U.S.", *Monde souterrain* 9(155), juil.-août-sept. 1968, pp. 153-168.
- "Exposition internationale : classe 17ter, urbanisme souterrain", *Monde souterrain* (15-16-17), 1937.
- Grands projets souterrains pour Paris et la région Ile-de-France*. Journées d'études organisées par le C.E.I.F.I.C.I. (Centre d'Etudes, d'Information et de Formation pour les Ingénieurs de la Construction et de l'Industrie), 10-11 avr. 1991. Paris : C.E.I.F.I.C.I., 1991. Dossier 7 pièces, pag. div., exempl. dactylogr.
- "Grands travaux souterrains de Paris", *Monde souterrain* 8(150), avr.-mai-juin 1967, pp. 285-308.
- "Pour un schéma directeur du sous-sol", *M.T.P.B.*, 18 août 1989, p. 6.
- Premier congrès international d'urbanisme souterrain*. Résumés des communications au congrès de Paris, juil. 1937. S.I.n.d. 1 dossier, 1ère section : 32 fiches, 2e section : 42 fiches.
- "Protection (la) souterraine des populations, de l'industrie et des réserves : abris, travaux", *Monde souterrain* (36-37-38), nov. 1939, pp. 187-204.

Rapports au deuxième congrès mondial des techniques et de l'urbanisme souterrain. Actes du congrès de Rotterdam, juin 1948. [Paris : G.E.C.U.S.] (coll. "L'encyclopédie du monde souterrain", hors série 2), s. d. 1 dossier, 4 vol.

Rapports au troisième congrès international des techniques et de l'urbanisme souterrain. Bruxelles, sept. 1959. Paris : G.E.C.U.S., 1960. XIV fasc., 292 p.

"Schéma (un) directeur pour le sous-sol", *T.O.S.* (96), 1989, pp. 265-266.

"Transports : l'an 2001 en Ile-de-France", *La vie du rail*, hors-série, août 1991. 120 p.

"Tunnel (le) sous la Manche", *Monde souterrain* (39-40), janv. 1940, pp. 215-227 ; (41-42), mars 1940, pp. 244-262.

Urban Underground Utilization '91 : 4th international conference on underground space and earth sheltered buildings. Actes du colloque de Tokyo, 3-5 déc. 1991. Tokyo : Urban Underground Space Center of Japan, [1991]. 704 p.

"Voirie urbaine", *R.G.R.A.* (681), janv. 1991, pp. 15-39.

IV. ARCHIVES ET MANUSCRITS

ARCHIVES NATIONALES

Série F8 : Police sanitaire.

77. Hygiène publique, département de la Seine (an II-1820).

171-172. Conseils et commissions d'hygiène et de salubrité, département de la Seine (an X-1907).

Série F14 : Travaux publics.

4562. Nivellement général de la France, 1823-1882. Ce carton contient notamment la correspondance entre les ingénieurs responsables des services de navigation et le Ministère des travaux publics (1845 à 1865 environ) relative au nivellement des fleuves.

4563-6035. Nivellement général de la France, 1823-1897. Carnets de route des agents du nivellement.

10 355. Cartes de nivellement, XIXe siècle : P. A. BOURDALOUË, *Nivellement général du département du Cher*, Bourges, 1854, 1 atlas, 1/40 000, 22 feuilles.

Série F20 : statistiques.

287. Hauteurs de la Seine au pont de la Tournelle (1777-1811, 1827).

ARCHIVES DE L'INPECTION DU GÉNIE

Article 19, section 2.

CATOIRE (instituteur des fortifications). *Cours de fortification*. Vers 1795.

Organisation de l'Ecole polytechnique. 7 vendémiaire an IV.

Programme de mécanique à l'Ecole polytechnique. 1802.

Article 8 : Paris.

Cartons 1 à 5. Paris-Travaux de Défense 1792-1834. Projets d'enceinte.

ARCHIVES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES

Dossiers personnels (académiciens et correspondants) : De qualité très inégale, ces dossiers renferment des manuscrits (mémoires, correspondance) ainsi que toute publication relative à l'académicien concerné (notices biographiques notamment), dans la mesure où elle a été communiquée à l'Académie. Nous avons notamment consulté les dossiers de : Philippe BUACHE, Jean-Nicolas BUACHE de la NEUVILLE, Pierre-Simon GIRARD, François ARAGO, Gaspard Riche de PRONY.

ARCHIVES DE LA SEINE

Série VO3 : eaux, canaux, égouts.

36. Assainissement des abattoirs (1826-1832).

101. Puits (XIXe siècle).

163. Egouts, vidanges (1870-1896).

437-443, 445, 450, 452, 455, 460-469. Administration de la voirie de Bondy (XIXe siècle).

Autres séries.

DQ10, 743. Papiers Lenoir, notamment : *Hauteur de différents points de Paris rapportés au zéro du pont de la Tournelle, canaux, largeur de la Seine, XIXe siècle.*

DQ10, 1614, n° 483. Administration de la voirie de Bondy (1819-1842)

DQ10, 1693. Demandes de suppression de la voirie de Bondy.

D1S⁸, 1. Assainissement général-Affaires générales (1808-1935).

D3S⁸, 14. Assainissement de Bondy (1845-1945).

BIBLIOTHEQUE NATIONALE, DÉPARTEMENT DES CARTES ET PLANS

Ge CC 2385. CORDIER. *Projets présentés pour la jonction de la Marne à la Seine, la dérivation de la Seine et les docks ou bassins éclusés à établir dans les palines de Choisy, d'Ivry et de Grenelle.* 1827-1832.

Ge D 10049. P. BUACHE. *Profils représentant la crue (...) de la Seine (...).* 1770.

Ge DD 5525. P. BUACHE. *Carte de la rivière de Seine et de ses affluents.* 94 feuilles.

Ge FF 10489. *Plan de nivellement. Quais et ponts de Paris.* 1858. 20 pl., 1/500.

BIBLIOTHEQUE DE L'ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES.

Nous avons choisi de n'utiliser dans le texte que les anciennes cotes, qui servent d'entrée dans le catalogue des manuscrits de la bibliothèque. Nous mentionnons ici les nouvelles cotes (entre crochets) qui déterminent le classement physique des documents.

811 [4° 3008]. QUERLONDE, *Mémoire sur l'épaisseur des murs de soutènement*, [1742], 1 cahier.

818 [4° 1597]. LA PEYRE, *Mémoire sur les murs de soutènement et particulièrement sur la construction des murs de quai.* An XI, 1 cahier.

820 [4° 913]. FRANÇAIS, J. *Recherches sur la poussée des terres et sur la forme et les dimensions des murs de revêtement et sur les talus d'excavation, avec supplément*, 1817.

821 [4° 912]. LAMBEL, de. *Notes et correspondance sur un mémoire de M. de Lambel relatif à la poussée des terres*. 1818.

1022 [4° 2 195]. Carrières aux environs de Paris. Notes et mémoires sur les travaux de consolidation, etc. 1779-1780. 1 dossier.

1279 [4° 1 155]. PRONY, de. *Observations barométriques faites au Panthéon, aux Invalides, à l'Ecole des Ponts et Chaussées*. 1809. 8 feuillets.

1920 [4° 1 625]. PRONY de (attribué à). Nivellement de la Seine dans la traversée de Paris, étiages, crues. Documents de 1764 à 1810 environ.

1924 [4° 233, t. 3]. Nivellement et jaugeage de la Bièvre. 1769.

1946-1947 [4° 2 851]. MICHAL. *Navigation de la Seine dans la traversée de Paris et en aval de Paris*. Notes, Profils et plans. 1844 et 1851. 1 dossier.

2383 [4° 2 475]. Nivellement d'une partie de la Bièvre. XIXe siècle. 4 plans de profils en travers de la vallée de la Bièvre.

3098 [4° 1894]. MEUSNIER, J. B. *Mémoire sur la détermination du plan de site*.

BIBLIOTHEQUE HISTORIQUE DE LA VILLE DE PARIS

Manuscrits.

12-21. Papiers de Pierre-Simon Girard relatifs principalement aux eaux de Paris.

BUREAU DES RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIERES

Archives de la société de forage LIPPMANN. Recueil des sondages effectués de 1830 à 1920, 12 vol.

TABLES

ABRÉVIATIONS

<i>A.A.M.</i>	<i>Archives d'Architecture Moderne</i>
<i>A.B.L.</i>	<i>Annuaire du Bureau des Longitudes</i>
<i>A.B.T.U.S.</i>	Association Belge des Techniques et de l'Urbanisme Souterrains
<i>A.E.S.C.</i>	<i>Annales Economie, Société, Civilisation</i>
<i>A.F.T.E.S.</i>	Association Française des Travaux en Souterrain
<i>A.I.T.E.S.</i>	Association Internationale des Travaux en Souterrain
<i>A.H.P.M.L.</i>	<i>Annales d'Hygiène Publique et de Médecine Légale</i>
<i>A.N.R.E.D.</i>	Agence Nationale pour la Récupération et l'Elimination des Déchets (aujourd'hui ADEME)
<i>A.P.C.</i>	<i>Annales des Ponts et Chaussées</i>
<i>A.R.D.U.</i>	Association pour la Recherche et le Développement en Urbanisme
<i>A.R.S.</i>	Académie Royale des Sciences
<i>A.R.U.</i>	<i>Annales de la Recherche Urbaine</i>
<i>B.A.G.F.</i>	<i>Bulletin de l'Association des Géographes Français</i>
<i>B.H.V.P.</i>	Bibliothèque Historique de la Ville de Paris
<i>B.L.L.P.C.</i>	<i>Bulletin de Liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées</i>
<i>B.R.G.M.</i>	Bureau des Recherches Géologiques et Minières
<i>B.S.B.F.</i>	<i>Bulletin de la Société Botanique de France</i>
<i>C.D.U.</i>	Centre de Documentation en Urbanisme
<i>C.I.M.S.T.F.</i>	Congrès International de Mécanique des Sols et des Travaux de Fondation
<i>C.N.A.M.</i>	Conservatoire National des Arts et Métiers
<i>C.R.E.P.I.F.</i>	Centre de Recherches et d'Etudes sur Paris et la Région Ile-de-France
<i>C.R.U.</i>	Centre de Recherche d'Urbanisme
<i>C.T.H.S.</i>	Comité des Travaux Historiques et Scientifiques
<i>C.V.P.</i>	Commission du Vieux Paris
<i>CETUR</i>	Centre d'Etude des Transports Urbains
<i>E.H.E.S.S.</i>	Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales
<i>E.N.P.C.</i>	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
<i>E.N.S.B.A.</i>	Ecole Nationale Supérieure des Beaux Arts
<i>E.N.S.M.P.</i>	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris
<i>E.N.T.P.E.</i>	Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat
<i>E.S.T.P.</i>	Ecole Spéciale des Travaux Publics
<i>G.E.C.U.S.</i>	Groupe d'Etude du Centre Urbain Souterrain, puis Groupe d'Etude et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain
<i>G.D.R.</i>	Groupement de Recherche
<i>G.W.</i>	<i>Ground Water</i>
<i>H.A.R.S.</i>	<i>Histoire de l'Académie Royale des Sciences</i>
<i>H.M.S.R.M.</i>	<i>Histoire et Mémoires de la Société Royale de Médecine</i>

<i>H.S.R.M.</i>	<i>Histoire de la Société Royale de Médecine</i>
I.A.U.R.I.F.	Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de le Région Ile-de-France
I.D.F.	Institut pour le Développement Forestier
I.G.C.	Inspection Générale des Carrières
I.G.N.	Institut Géographique National
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
L.C.P.C.	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
L.R.E.P.	Laboratoire Régional de l'Est Parisien (du L.C.P.C.)
L.R.O.P.	Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien (du L.C.P.C.)
L.T.M.U.	Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines
<i>M.A.R.S.</i>	<i>Mémoires de l'Académie Royale des Sciences</i>
<i>M.S.R.M.</i>	<i>Mémoires de la Société Royale de Médecine</i>
<i>M.T.P.B.</i>	<i>Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment</i>
MAB	Man and Biosphere (programme UNESCO)
<i>M.O.G.</i>	<i>Mémorial de l'Officier du Génie</i>
P.U.F.	Presses Universitaires de France
PIREN	Programme Interdisciplinaire de Recherche Environnement du C.N.R.S. (l'appellation PIREN n'a plus cours depuis 1988, mais le programme demeure, nous avons donc conservé le sigle par commodité)
R.A.T.P.	Régie Autonome des Transports Parisiens
<i>R.F.G.</i>	<i>Revue Française de Géotechnique</i>
<i>R.G.R.A.</i>	<i>Revue Générale des Routes et Aérodrômes</i>
S.H.P.	Société d'Histoire de Paris
S.H.P.I.F.	Société d'Histoire de Paris et de l'Ile-de-France
S.R.M.	Société Royale de Médecine
S.T.U.	Service Technique de l'Urbanisme
<i>T.O.S.</i>	<i>Tunnels et Ouvrages Souterrains</i>
<i>T.S.M.</i>	<i>Techniques Sciences Méthodes</i>

LISTE DES FIGURES

1. Principaux paramètres d'influence de la stabilité d'un massif géologique en milieu urbain.....	35
2. Coupe géologique de la rue des Deux Ponts (île Saint-Louis), à Paris.....	38
3. Désordres dans les constructions fondées sur la zone des remblais de l'île de Stadsholmen (Stockholm).....	40
4. Extrait de la carte des fondations du centre ville d'Helsinki.....	41
5. Formation d'un fontis dans une carrière non-remblayée.....	46
6. Emplacement des anciennes carrières de Paris.....	46
7. Profil de la rue Saint-Jacques à Paris, du sol naturel au sol actuel.....	49
8. Coupe d'une ancienne voirie parisienne faite d'après l'Atlas géologique des vingt arrondissements de Paris.....	52
9. Construire en site urbain.....	56
10. Le métabolisme urbain et l'écosystème lacustre.....	65
11. Variations saisonnières de la température et de la teneur en eau du sol.....	70
12. Les effets écologiques du piétinement.....	71
13. Variations saisonnières du nombre de bactéries totales du sol.....	75
14. Propriétés des sols de Poushchino.....	80
15. Localisation des sites d'étude du sol dans le New Jersey.....	81
16. Macrofaune et mésofaune observées dans les sols de Varsovie.....	83
17. Le cimetière des Innocents vers 1730.....	107
18. Eudiomètre de Fontana utilisé par Ingen-Housz.....	123
19. Portraict de l'Arbre qui porte des feuilles, lesquelles tombées sur terre se tournent en oyseaux volants, et celles qui tombent dans les eaux se muent en poisson.....	124
20. Les égouts de Paris en 1789.....	156
21. La voirie de Montfaucon à Ménilmontant.....	159
22. Extrait d'une feuille de relevé du niveau de la Seine au pont de la Tournelle.....	188
23. Plan de l'inondation de 1740.....	191
24. Rues nivelées par P. Buache et bassins versants de Paris.....	192
25. Coupe de la ville de Paris de la porte Saint-Martin à l'Observatoire.....	194
26. Premières courbes de niveau marines, fragment de la Carte de l'estuaire de l'île de Goeres de Nicolas Cruquius (1733).....	196
27. Plan de comparaison utilisé par Milet de Mureau pour la ville de Bonifacio.....	202
28. Méthode de Bélidor.....	214
29. Méthode italienne de la poussée des terres développée par Papacino d'Antoni.....	215
30. Méthode des constructeurs.....	216
31. Méthode de Coulomb.....	217
32. L'assise technique de la ville conçue par Patte.....	235
33. Méthode graphique de Prony.....	239
34. Instrument destiné à mesurer la poussée des terres utilisé par Mayniel en 1806 à Juliers puis Mantoue.....	242
35. "Moyen proposé par Léon-Baptiste Alberti pour relier les fondemens de plusieurs points d'appui isolés, afin de diminuer les effets de la pression".....	244

36. Dynamomètre utilisé par Rondelet afin d'évaluer "la force du choc d'un corps qui tombe de différentes hauteurs".....	247
37. Nivellement de Paris représenté par les lignes de plus grande pente (1812).....	257
38. Nivellement de Paris représenté par les courbes de niveau (1812).....	258
39. Extrait d'une feuille de calcul de nivellement barométrique de Prony.....	261
40. Méthode de calcul du niveau moyen de la mer moyenne (1842).....	265
41. Variations météorologiques et phénomènes physiologiques (1829).....	295
42. Plan de situation des filtres de Toulouse.....	315
43. Coupe du troisième filtre de Toulouse.....	316
44. Appareil utilisé par Darcy pour mesurer le rendement des filtres (1855).....	319
45. Evaluation géométrique du tassement des terres de remblai.....	333
46. Chaussées empierrées, méthode de Trésaguet.....	344
47. Egouts et bassins versants de Paris (1836).....	356
48. Plan de Paris indiquant les parties submergées par les grands débordements de la Seine, avec le relief de 1870.....	361
49. Largeurs de trottoirs et de chaussées à Paris.....	363
50. Chaussée macadamisée dans Prince's street à Edimbourg.....	372
51. Collecteur d'Asnières - profil en long de la partie construite en souterrain.....	376
52. Exécution du collecteur des Coteaux, à Paris, dans les sables fluents.....	377
53. Construction d'égout sur remblai de carrière, avec substruction en arcades.....	379
54. Théorie des puits artésiens.....	387
55. Coupe du puits absorbant de la barrière du Combat.....	395
56. Carte générale des régions d'épuration agricole (1908).....	408
57. La fièvre typhoïde et la voirie de Bondy, décès typhiques à Paris en 1882.....	422
58. Rue actuelle et rue future selon Eugène Hénard.....	437
59. Les autoroutes souterraines de Gaston Bardet (1934).....	448
60. Le réseau parisien d'autoroutes souterraines (1936).....	449
61. Rampes hélicoïdales d'accès aux autoroutes souterraines (1936).....	449
62. Calcul du coefficient d'utilisation du sous-sol (C.U.S.S.) pour une fouille de 100 m x 100 m et de 20 m de profondeur (six niveaux).....	456
63. Le projet d'aménagement du quartier des Halles à Paris (1967).....	457
64. Essai de zoning souterrain dans un quartier d'entrepôts (1955).....	462

LISTE DES TABLEAUX

1. Contraintes entre réseaux pour les parcours parallèles.....	25
2. Résultats d'une enquête du CERIB (Centre d'études et de recherches de l'industrie du béton) portant sur 400 km de réseaux d'assainissement non-visibles en béton.....	34
3. Comportement géotechnique des formations sédimentaires du Bassin de Paris.	35
4. Evolution des pompages d'eau souterraine à Paris de 1968 à 1981.....	43
5. Apports d'eau à la nappe souterraine dans Paris intra-muros.....	43
6. Caractéristiques géométriques des principaux effondrements de terrain dus aux gypse lutétiens, survenus à Paris et en proche banlieue depuis le début du siècle, à l'exclusion des affaissements de type subsidence et des désordres aux constructions.	47
7. Composition moyenne des décharges de résidus urbains.....	55
8. Métabolisme d'une ville américaine fictive d'un million d'habitants.....	63
9. Caractéristiques des sols urbains de Tokyo, comparées à celles d'un sol supposé naturel.....	70
10. Etude d'un sol de remblai anthropique dans la baie de Tokyo.	73
11. pH de différents déchets industriels rencontrés à Manchester.	74
12. Concentration de métaux lourds dans la litière et le sol, comparaison d'un site urbain et d'un site rural.....	76
13. Evaluation des entrées et sorties de métaux lourds, comparaison d'un site urbain et d'un site rural, observations de mai 1975 à avril 1976.	76
14. Accumulation de plomb dans le sol en fonction de la profondeur et de la distance à l'autoroute I-95 (zone ouest) à Beltsville, Maryland, Etats-Unis.	77
15. Teneur en plomb et en sodium (ppm) dans les sols des différentes zones étudiées.	82
16. Propriétés des sols de Berlin suivant leurs usages.....	86
17. Distribution des vents à Paris (1822).....	148
18. Topographies médicales (1776-1862).....	153
19. Analyse de l'air atmosphérique par Lavoisier.....	183
20. Composition de l'air atmosphérique altéré par la respiration déterminée par Lavoisier.....	183
21. Force (kg) du choc d'un corps tombant de différentes hauteurs.....	248
22. Facteur multiplicatif à appliquer à la masse du corps pour trouver la force du choc en fonction de sa hauteur de chute	248
23. Comparaison des diverses méthodes de nivellement (1811).	262
24. Décès dus au choléra de 1832, quartier du faubourg Saint-Denis.....	291
25. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de la salubrité des rues	291
26. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de l'étage habité.....	292
27. Décès dus au choléra de 1832 en fonction de l'orientation des rues et de la classe sociale	293
28. Mortalité (décès à domicile, dans les hôpitaux et les hospices) et densité de construction des arrondissements de Paris (1817-1826).	298
29. La mortalité cholérique dans ses rapports avec les diverses professions classées suivant leur mode principal d'action (1832).....	300
30. Matières fournies par l'équarrissage (1832).....	305
31. Rendement de différents filtres en service (1856).....	317
32. Expériences de Darcy à Dijon (1855) sur la filtration des sables.....	320
33. Relations entre la pression d'admission de l'eau P (m), le débit surfacique à la sortie du filtre Q (l/s/m ²), et la charge proportionnelle par mètre d'épaisseur du filtre I (1855).....	320

34. Débouché mouillé kilométrique des ponts du bassin de la Seine suivant la nature des terrains traversés (1873).	328
35. Expériences du colonel Dorbach sur la résistance du sable (1832).	339
36. Expériences de Niel sur tassement du sable (1835).	341
37. Résistance des pierres et des chaussées à la pression, d'après les expériences de Navier.....	348
38. Evolution de la longueur des égouts parisiens (1663-1990).	354
39. Hauteur des plus grandes crues de la Seine dans Paris (1615-1850).	362
40. Puits d'absorption figurant dans les archives Lippmann (1833-1911).	403
41. Qualité des eaux de la Seine au voisinage du collecteur d'Asnières (1880).	407
42. Décès causés par les maladies zymotiques à Bruxelles, parallèle entre l'année 1881 et la moyenne annuelle des trente années 1850-1880.....	415
43. Microgermes contenus dans différentes eaux (1880).	416
44. Mortalité variolique de l'hiver 1869-1870 à Paris.....	421
45. Evaluation de la perte annuelle subie par l'économie parisienne du fait de la congestion du trafic (F 1954).....	451
46. Evaluation de la capacité de stationnement à Paris et des besoins actuels et futurs (1954).	453
47. Coût de construction au kilomètre des infrastructures routières de surface et enterrées à Paris.	455
48. Comparaison des valeurs théoriques de la formule barométrique de Maraldi avec les hauteurs observées (1703).....	476
49. Comparaison des résultats obtenus par les différentes formules du nivellement barométrique.	483

TABLE DES MATIERES

A V A N T - P R O P O S	iii
SOMMAIRE.....	iv
INTRODUCTION	2
PREMIERE PARTIE : IMAGES DU CHAOS.....	23
CHAPITRE I : RÉSEAUX ET FONDATIONS	24
I.1. VOIRIE ET RÉSEAUX DIVERS.....	24
I.1.1. Sol technique	24
I.1.2. Encombrement du sous-sol.....	28
I.1.3. Milieu.....	33
I.2. DES FONDATIONS VACILLANTES.....	39
I.2.1. Hydrogéologie.....	39
I.2.2. Vides.....	45
I.2.3. Remblais	49
I.3. CONCLUSION.....	57
CHAPITRE II : ECOLOGIE ET PÉDOLOGIE	58
II.1. GENESE.....	59
II.1.1. La ville sans sol	59
II.1.2. Ecologie urbaine.....	63
II.2. PÉDOLOGIE APPLIQUÉE EN MILIEU URBAIN.....	69
II.2.1. Caractéristiques générales.....	69
II.2.2. Etudes détaillées.....	79
a) Sols naturels modifiés et sols anthropiques.....	79
b) Pression anthropique.....	81
c) Usages du sol	84
II.3. CONCLUSION.....	87
U N E R E S S O U R C E R A R E.....	88
DEUXIEME PARTIE : LA VIE DU SOL	90
CHAPITRE I : LA NATURE DU SOL (XVIII^E SIECLE).....	91
I.1. LA TERRE VIVANTE	93
I.1.1. Le sol méphitique	93
a) Les exhalaisons de la terre	93
b) Le cimetière des Innocents.....	105
c) Nyctalopie et maux d'yeux	110
d) Marais.....	117
e) Une épidémiologie biogéochimique	121

I.1.2. Ecologie humaine et cycles trophiques	124
a) Cycles trophiques et putréfaction	124
b) De la constitution à la topographie médicale.....	136
Les facteurs locaux du climat.....	140
Le peuple.....	143
La ville	145
Le sol.....	149
Une écologie urbaine ?	151
I.1.3. Utilitarisme.....	154
a) Poudrette.....	157
b) Salpêtre	160
c) Tourbe artificielle	163
d) Culture et pavage	166
I.1.4. Un oubli ?.....	168
I.2. LA TERRE INERTE	169
I.2.1. De l'air, de l'air.....	169
a) La nutrition des végétaux	169
b) L'air humide et chaud rend mou	174
c) La respiration corrompt	180
I.2.2. La figure de la ville.....	184
a) Paris immergé et les villes militaires.....	184
b) Les terres mécaniques.....	203
Les fondations.....	203
Les murs.....	207
c) Le sol des ingénieurs	218
I.2.3. Abiotisme	219
Le plan total.....	222
CHAPITRE II : L'ESSOR DES TECHNIQUES URBAINES	
(RÉVOLUTION ET EMPIRE).....	236
II.1. PRESENTIMENTS	237
II.1.1. Mécanique contre physique	237
a) La poussée des terres.....	237
b) Le choc et le tassement.....	243
c) Le canal de l'Ourcq	250
II.1.2. Une figure de la ville.....	256
a) Le plan et le zéro	256
b) Le sol factice	268
II.2. RENONCEMENT	273
II.2.1. La médecine dans la tourmente	273
II.2.2. Un paradoxe	280

CHAPITRE III : LE SOL EN CHANTIER (XIXE SIECLE).....	283
III.1. DU MÉPHITISME À LA STATISTIQUE MÉDICALE.....	285
III.1.1. Grandes épidémies.....	285
III.1.2. Statistique médicale.....	294
III.1.3. Humer, observer : Parent-Duchâtelet.....	302
III.1.4. Affections locales.....	306
III.1.5. Allers-retours.....	308
III.2. LA PHYSIQUE DU SOL.....	310
III.2.1. Trois disciplines, trois perméabilités.....	311
a) Hydraulique.....	311
b) Traitement des eaux.....	313
c) Hydrologie.....	324
III.2.2. La compressibilité.....	329
a) Compressibilité et rotation.....	329
b) Répartir la charge ou resserrer le terrain ?.....	334
c) Le roulage.....	343
III.3. LE SECOND PLAN DE VILLE.....	350
III.4. DYSFONCTIONNEMENTS.....	360
III.4.1. La peau.....	360
a) La ville imperméable ?.....	360
b) L'asphyxie du sol.....	366
c) Les nouvelles boues.....	370
d) Les égouts.....	374
e) L'encombrement du sous-sol.....	379
III.4.2. Puits d'absorption.....	381
III.4.3. Marais artificiels.....	404
CHAPITRE IV : URBANISME (XXE SIECLE).....	426
IV.1. UNE NOUVELLE DISCIPLINE.....	428
IV.2. L'URBANISME SOUTERRAIN.....	438
IV.2.1. Doctrine.....	441
IV.2.2. Projets.....	446
a) Aménagement de Paris.....	446
b) Autres travaux.....	460
IV.2.3. Le déclin.....	463
LES SOLS DE LA VILLE.....	465

ANNEXES.....	472
1. Essor et décadence du nivellement barométrique (XVIIIe- XIXe siècle)	473
2. Note de présentation de l'observatoire des chaussées urbaines de Montreuil (93).....	486
3. Paramètres pris en compte dans l'observatoire des chaussées de Montreuil.....	490
SOURCES ET BIBLIOGRAPHIE.....	496
TABLES.....	560
Abréviations	561
Liste des figures.....	563
Liste des tableaux	565
Table des matières.....	567

RÉSUMÉ

Ce travail traite d'une partie souvent oubliée de la ville, le sous-sol peu profond qui accueille les réseaux, les racines de la végétation, les déchets urbains, à travers le cas français, parisien en particulier.

Dans une première partie, on met en exergue les dysfonctionnements actuels de la pédosphère urbaine : dégradations des réseaux, de la végétation, perturbation des nappes, etc.

Dans la seconde partie, on recherche les racines historiques de la perte de connaissance sur le sol urbain en analysant les doctrines scientifiques et techniques qui se succèdent du XVIII^e au XX^e siècles chez les médecins, géographes et ingénieurs.

On montre comment les premiers ont analysé le rôle du sol dans l'épidémiologie urbaine au XVIII^e siècle puis ont perdu cette sensibilité dès la restauration en substituant la statistique à l'observation, avant de se tourner vers le milieu intérieur à la fin du XIX^e siècle.

Les géographes ont permis, malgré de nombreuses difficultés, la reconnaissance de la topographie urbaine en élaborant les outils cartographiques de représentation du relief, qui sont repris par les ingénieurs des Ponts et Chaussées auxquels est confiée au XIX^e siècle la rectification de la ville. On insiste sur les difficultés que rencontrent ces derniers à saisir la nature du sol, qui se traduit par la mathématisation de la poussée des terres et l'empirisme dans les techniques de fondation.

Les transformations de la ville, ébauchées sous le Premier Empire, entraînent dès la Monarchie de Juillet une série de dysfonctionnements dans la gestion du sol urbain : revêtement des rues, apparition du déchet liquide. Le sol industriel n'est plus considéré pour sa valeur artisanale ou son rôle délétère mais accueille parfois les eaux usées et est ravalé au rang de filtre.

Si l'automobilisme permet l'accomplissement de la ville abiotique, on souligne le désintérêt des urbanistes, des hygiénistes (rarement médecins), des mécaniciens des sols du premier XX^e siècle pour le milieu urbain. Un regain d'intérêt pour le sol urbain se manifeste dans l'Entre-deux-guerres, mais dans une nouvelle perspective, celle de l'urbanisme souterrain.

Ces deux siècles et demi conduisent au chaos actuel du sous-sol et traduisent non seulement la complexité de l'industrialisation du sol mais aussi le désintérêt progressif de certaines disciplines scientifiques pour la ville dans laquelle elles ont vu le jour.

Mots-clefs : histoire des techniques urbaines, sous-sol urbain, hygiénisme, assainissement, écologie urbaine, pédologie, urbanisme souterrain, Paris, XVIII-XX^e siècles.